Digitized by Google

Phys. g. 619 s (8,1 Gehler

~~Naaldsche 82~~

Digitized by Google

<36601791560015

<36601791560015

Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch

VIII. Band.

S.

Digitized by Google

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Gmelin. Horner. Littrow. Muncke. Pfaff.

Achter Band.

S.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Mit Kupfertafeln I bis XXIII.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1836.

Digitized by Google

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Digitized by Google

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

S.

S ä u l e.

Volta'sche oder Galvanische Batterie; *Pila electrica;* Pile électrique ou Voltaique; *Voltaic Pile;* Pila di Volta.

Wir haben oben[1] für den Artikel *elektrische Säule* uns eine in ein genaueres Detail eingehende Beschreibung der verschiedenen Formen und Einrichtungen, welche man der elektrischen Säule gegeben hat, so wie mehrerer mit derselben angestellter Versuche, die wir dort übergingen, da sie für die allgemeine Theorie weniger von Belang schienen, vorbehalten. Das Nachfolgende soll so viel als möglich diese Zusage erfüllen, wobei wir uns begreiflich nicht wie in einem Lehrbuche darauf einschränken können, dasjenige hervorzuheben, was als das Beste und am meisten Probehaltige sich nach einer Reihe von Versuchen ergeben hat, sondern auch historisch auf die Verdienste Rücksicht nehmen müssen, welche sich verschiedene Physiker in einer Reihenfolge theils um die Vervollkommnung dieses wichtigen physikalischen Apparats, theils um die Benutzung desselben zur Erweiterung unserer Naturerkenntnifs überhaupt, besonders aber im Gebiete der Chemie, endlich um die genauere Bestimmung der Wirkungsgesetze desselben erworben haben.

Um die Uebersicht der hierher gehörigen Thatsachen zu erleichtern, ist es am angemessensten, die drei Hauptclassen von elektrischen Säulen zu unterscheiden:

1) die *primäre*, welche selbst wieder zerfällt in
   a) die *hydroelektrische* oder die eigentliche *Volta'sche* Säule,
   b) die sogenannte *trockene* oder *Zamboni'sche* Säule;

1 S. *Galvanismus* Bd. IV. S. 826.

Digitized by Google

2) die *secundäre* oder abgeleitete, die sogenannte *Ladungssäule*, die nach ihrem ersten Erfinder Ritter auch die *Ritter'sche* genannt werden kann.

Es möge hier zuerst von der hydroelektrischen Säule, dann von der ihr nahe verwandten Ladungssäule gehandelt werden, und demnächst auch die trockne Säule zur Untersuchung kommen.

I. Die hydroelektrische oder Volta'sche Säule im engern Sinne.

Sie unterscheidet sich im Allgemeinen dadurch, dafs mit ihrer Wirksamkeit stets ein nachzuweisender chemischer Procefs verknüpft ist, der die Mitwirkung des Wassers voraussetzt, und dafs der Quell ihrer Wirksamkeit unmittelbar in ihr selbst liegt.

A. Verschiedene Formen und Einrichtungen derselben.

AA. Die eigentliche Säule.

Die erste Form, in welcher der verstärkte galvanische Apparat auftrat, war die einer Säule im engern Sinne, durch Uebereinanderschichtung von metallischen Plattenpaaren, zwische welchen mit einer wasserhaltigen Flüssigkeit getränkte Tuch- oder Pappscheiben sich befanden. Diese Form ist auch jetzt noch eine der gebräuchlichsten und gewährt für manche Anwendungen, namentlich für die arzneiliche, manche Vorzüge. Als Metalle wurden im Anfange häufig Silber in Form von verschiedenen gröfseren Münzen und Platten von Zink angewandt, erstere wurden aber sehr bald durch das Kupfer verdrängt, das jetzt in den galvanisch-elektrischen Batterieen jeder Art das gebräuchliche Metall ist. Die Form der Metallplatten selbst für die Säulen ist willkürlich, man kann sie rund oder viereckig nehmen. Die Gröfse der Platten kann auf das Mannigfaltigste abgeändert werden, ebenso die Zahl der Abwechselungen. Die gröfsten Platten in dieser Form des Apparats haben zuerst Simon in Berlin in einer Säule von 60 Paaren Kupfer und Zink von 8″ Durchmesser[1], demnächst

1 G. IX. 393.

Digitized by Google

Biot[1] in einer Säule von zwar nur 12 kreisförmigen Platten, von denen aber jede 14 franz. Zoll im Durchmesser hatte, und van Marum und Pfaff[2] in einer Säule von 110 Plattenpaaren von 5″ Seite angewandt. Die gröfsten Säulen der Zahl der Plattenpaare nach sind von Buntzen, den Wiener Physikern und Ritter errichtet worden. Die des erstern[3] bestand aus 1050 runden Plattenpaaren von Zink und Kupfer von 1″ 8‴ Durchmesser mit Pappscheiben, die mit einer Auflösung von Salmiak und Zucker (welcher letztere angewandt wurde, um die Pappscheiben länger feucht zu erhalten) getränkt waren; sie war so stark, dafs ein Frosch, so grofs auch seine Lebenskraft war, durch Schliefsung der Kette augenblicklich getödtet wurde. Jacquin[4], Schreibers, Tihawsky und Bremser bauten zur Darstellung des Kaliums eine Säule von 1160 Plattenpaaren, welche zusammen 54 Quadratfufs 23 Quadratzoll Flächeninhalt von jedem Metalle hatte. Die gröfste Säule, die Ritter[5] errichtete, bestand aus 2000 Plattenpaaren von Kupfer und Zink, die ersteren viereckig, etwas über vier Quadratzoll, die letzteren rund, etwas gröfser als ein Laubthaler, die Pappscheiben von der Dicke einer Linie und mit concentrirter Salmiakauflösung getränkt. Die physiologischen Wirkungen dieser Säule waren so heftig, dafs selbst eine Kette von dreifsig Personen, nur mit trockenen Händen verbunden, auf das stärkste erschüttert wurde. Um solche grofse Säulen zu errichten, ist es erforderlich, sie in verschiedene kleinere Säulen zu theilen und auf die Art mit einander zu verbinden, wie schon im Artikel *Galvanismus* angegeben worden ist. Die einzelnen Säulen, aus welchen jene mächtige Säule Ritter's bestand, begriffen jede 100 Plattenpaare. Aber auch solche kleinere Säulen erfordern ihre angemessenen Gestelle, um sie bequem handhaben zu können. Man hat verschiedene solcher Gestelle angegeben; das einfachste ist ein starker hölzerner Klotz von wohl ausgedörrtem und zum Ueberflufs in Oel gekochtem Holze, auf welchen man, um die Säule für gewisse Versuche hinlänglich zu isoliren, eine dicke Scheibe von Harz

1 G. X. 28.
2 G. X. 121 ff.
3 G. XV. 251.
4 G. XXVIII. 133.
5 Physisch-chem. Abhandl. Bd. III. S. 370. G. XIX. 30.

Digitized by Google

aufgegossen hat und in welchen drei hinlänglich lange, wohl überfirnifste Glasstäbe eingelassen werden, auf welche eine wohl überfirnifste Holzscheibe aufgesteckt wird, die hinabgeschoben werden kann, um die Platten gut an einander zu pressen. Sind die Scheiben von einem kleinen Durchmesser, 1 bis 2 Zoll, so ist eine solche Art von Gestell oder Gestellen, wie sie Gilbert und Pohl angegeben haben, zu ihrer seitlichen Unterstützung nothwendig. Diese sind auch dazu geeignet, eine Säule von beliebiger Höhe dadurch so vollkommen als möglich zu isoliren. Das Wesentliche der von Gilbert[1] angegebenen Einrichtung besteht darin, dafs die Säule durch eine Druckschraube vermittelst eines übergreifenden dreieckigen Bretchens von oben zusammengehalten, seitwärts aber gegen das Uebereinanderschieben und Ausweichen der Metallplatten und das Umstürzen nicht durch drei Glasstäbe, sondern in der Höhe jeder 20sten oder 30sten Lage durch drei horizontale Schrauben gesichert ist, die in gleicher Ebene liegen und durch drei hinlänglich dicke lackirte hölzerne Pfeiler zusammengehalten werden, welche unten in das Bodenbretchen eingeschraubt und oben vermittelst eines gröfsern dreieckigen Bretchens, durch dessen Löcher ihre mit Schrauben versehenen Enden gehn, verbunden sind. Um die Säule so gut wie möglich zu isoliren, endigen die Schrauben in kleine Siegellackknöpfchen, mit welchen sie unmittelbar an die Metallplatten andrücken. Mittelst dieser Schrauben wird jede 20ste oder 30ste Platte durch horizontalen Druck von 3 Seiten her über der untersten Scheibe der Säule genau senkrecht erhalten, so dafs sie nirgendshin weichen kann und daher der Druck von oben her stets nur durch Stücke von 20 bis 30 Lagen ausgeübt wird.

Pohl[2] hat durch eine zweckmäfsige Einrichtung sowohl die vollkommene Isolirung der Säule erreicht, als auch dem Nachtheile des Auspressens der Flüssigkeit der untern feuchten Poppen durch den Druck der darüberstehenden Metallplatten abgeholfen. Auf den beiden Säulen ab und cd, die aus starken Fig. 1. Drähten oder Röhren von Metall, auch aus einem festen Holze bestehn können, sind Hülsen von Metall verschiebbar, deren

1 G. VII. 183.

2 Der Elektro-Magnetismus. Berlin 1830. S. 78.

je zwei, wie e und f, durch eine Metallplatte g zusammenhängen, welche an massiven Glasarmen h und i von ihnen getragen wird und mittelst Stahlfedern, die unter der Druckschraube der Hülse liegen, in jeder beliebigen Höhe an den Ständern festgestellt werden kann. Die unteren Schichten ruhen auf einer isolirenden Unterlage kl und werden durch die darüber liegende Platte mn so stark zusammengedrückt, dafs sie in ihrer Lage festgehalten werden, ohne dafs jedoch die Flüssigkeit aus der Pappscheibe herausgepreſst wird. Gleichergestalt ruht auf mn die nächst höhere durch eine zweite isolirte Stellplatte ebenso zusammengedrückte Abtheilung der Schichten u. s. w.

Zum feuchten Leiter solcher elektrischer Säulen nimmt man entweder Scheiben von Pappe oder von Tuch, Flanell u. dgl. Letztere haben den Vorzug, dafs sie nicht, wie erstere, so fest an die Platten ankleben, und daher wiederholt gebraucht werden können, während erstere bei länger fortgesetzten Versuchen jedesmal aufgehn, auch die Reinigung der Platten erschweren. Nach Verschiedenheit der Stärke der Wirkung, welche man beabsichtigt, werden diese Scheiben mit Kochsalz oder Salmiakauflösung getränkt. Ritter empfiehlt als besonders wirksam zur Verstärkung eine Lauge von Kochsalzauflösung, Lackmusdecoct und Rindsgalle. Auch kann man zur Verstärkung das Kochsalz in Essig auflösen. Die Tuch- oder Pappscheiben dürfen nur so weit angefeuchtet werden, dafs der Druck des obern Theils der Säule nicht Flüssigkeit auspressen kann, weil diese, indem sie an dem Rande der Platten hinabfliefst und sich zwischen die Zink- und Kupferplatten hineinzieht, durch partielle Schliefsungen die Stärke der Säule bedeutend schwächen kann. Eben diese Nothwendigkeit des stärkern Auspressens der Tuch- oder Pappscheiben, um jenem Nachtheile abzuhelfen, thut der Wirksamkeit der Säule mächtigen Eintrag. Um derselben überhoben zu seyn, hat Ritter[1] schon frühzeitig die Zinkplatten an der einen Fläche mit einem etwas erhabenen, rund herumgehenden Rande versehn, der gleich beim Gieſsen derselben durch die Form gegeben wird, wodurch die eine Fläche, auf welche die Tuch- oder Pappscheibe zu liegen kommt, einige Linien

1 G. VII. 373.

Digitized by Google

schmäler wird, aber die Pappscheiben einen sehr starken Druck aushalten können, ohne dafs die herausgedrückte Flüssigkeit an den Seiten abfliefsen kann, auch die Scheiben eine sehr starke Tränkung mit der Flüssigkeit zulassen, und das die Metalle so unangenehm verunreinigende Eindringen der herabfliefsenden Flüssigkeit zwischen dieselben verhindert wird. Pohl hat denselben Zweck durch sein Gestell zu erreichen gesucht, wodurch der Druck der obern Säulentheile auf die untern verhindert wird. Auch durch das Aneinanderlöthen der Kupfer- und Zinkplatten wird wenigstens jener zweite Nachtheil verhütet. Doch entbehrt man dabei die Bequemlichkeit, zu manchen Versuchen die Platten einzeln gebrauchen zu können, und an einem feuchten Orte aufbewahrt werden die Zinkplatten stellenweise stark angegriffen und erhalten bald Löcher mit weifsem Oxyd gefüllt, indem solche Doppelplatten als beständig geschlossene einfache Ketten wirken.

Manche der angeführten Nachtheile der *verticalen* Säulen werden am besten verhütet, wenn man sie in eine *horizontale* verwandelt. Haldane[1] hat diese Einrichtung zuerst in Anwendung gebracht, doch nur auf eine unvollkommene Art, indem er sich begnügte, in ein Bret eine 0,6 Zoll breite Rinne einzugraben, über welche er die aus 1,3 Zoll im Durchmesser haltenden Scheiben bestehende Säule legte, die dann nur auf den Schärfen des Ausschnitts ruhte, und wobei noch überdiefs durch eine wenig geneigte Lage des Brets der aus den feuchten Scheiben sich herabsenkenden Flüssigkeit ein Abflufs verschafft wurde. Vollkommen entspricht dagegen folgendes Gestell, welches ich gewöhnlich für die Volta'schen Apparate mit feuchten Tuch- oder Pappscheiben anwende, allen Forderungen und hat Vorzüge auch vor dem vollkommensten verticalen Gestelle. In zwei hinlänglich grofse und starke halbkreisförmige Holzbretchen sind zwei hinlänglich starke Holzleisten oder Stäbe in einer schiefen Stellung eingelassen, so dafs die in Gedanken verlängerte Richtung der Glasstreifen, die in sie eingekittet sind, in der Achse der elektrischen Säule, die auf ihnen ruht, einen rechten Winkel einschliefst. In ihrem obern Rande sind die Leisten mit einer Furche versehn, in welche eine Glasröhre oder ein Glasstreifen einge-

1 G. VII. 202.

Digitized by Google

kittet wird. Auf der innern Fläche des einen halbkreisförmigen Bretchens ist eine dicke, runde und obendrein noch dick mit Siegellack überzogene Glasplatte eingelassen, durch das andere Bretchen geht eine hinlänglich lange Schraube, welche an ihrem einen Ende mit einer Holzscheibe versehen ist, in welche eine wohllackirte Glasplatte eingelassen ist. OPQ stellt eines der beiden Bretchen, worin die Leisten festsitzen, in natürlicher Gröfse vor, wie es für Platten von anderthalb Zoll Durchmesser dient, OBC die in das Bretchen eingelassene Glasplatte, an welcher eine Endplatte der Säule anliegt, HG, NM sind die Stellen der Leisten im Durchschnitte durch ihre Breite und Dicke, BD und CI die Stellen der Glasstreifen im Durchschnitte nach ihrer Breite, Dicke und Lage innerhalb der Richtungen ABD, ACI, welche in dem Mittelpuncte A den rechten Winkel BAC machen, der durch den senkrechten Strich von A auf PQ halbirt wird. Dafs in dieser Richtung keine mathematische Genauigkeit nöthig sey, versteht sich von selbst. Bei der nach einem verjüngten Mafsstabe von der Seite schief entworfenen ganzen Batterie sind A und B die beiden Bretchen, worauf die Stäbe befestigt sind, FG ist der eine Stab oder die eine Leiste nach ihrer Breite und Länge, MN der Glasstreifen nach seiner Länge und nach der aus dem Falze der Leiste hervorragenden Breite, CD ist die auf den Glasstreifen ruhende Rolle von Scheiben, welche durch die Schraube M, die durch das Bretchen B hindurchgeht, gegen die Glasscheibe I hin beliebig zusammengedrückt werden können. Die Länge und Stärke der Stäbe und Glasstreifen richtet sich nach der Zahl und Gröfse der Metallscheiben, die man auf diese Art zur Säule schichten will, und die Entfernung der Glasstreifen an ihrem oberen Rande mufs etwas kleiner seyn als der Durchmesser der Metallscheiben, so dafs diese mit ihrem schmalen Rande sicher aufruhn, ohne durchzufallen. Bei grofser Länge, wenn man hundert und mehr Plattenpaare anwendet, und wenn das Gestell für gröfsere Platten bestimmt ist, müssen die Leisten noch unterhalb durch starke Querhölzer, die, um nicht mit den Platten in Berührung zu kommen, etwas ausgeschweift seyn müssen, verbunden werden, durch die das Gestell noch aufserdem mit aufruhn kann. Alles mufs auf das vollkommenste überfirnifst werden. Die grofsen Vortheile eines solchen

Fig. 2.

Fig. 3.

Digitized by Google

Gestelles sind zu einleuchtend, um weiter aus einander gesetzt werden zu müssen[1]. Eine so erbaute horizontale Säule kann auch sogleich in eine verticale verwandelt werden, wenn man das eine Endbretchen nicht weit vom obersten Puncte des Umkreises mit einem Loche durchbohrt, durch welches man eine Glasröhre steckt, die in eine entsprechende Vertiefung im andern Bretchen pafst und die Säule in ihrer neuen Lage sichert.

Eine Hauptrücksicht beim Gebrauche der gewöhnlichen elektrischen Säulen mufs auf ihre Erhaltung genommen werden. Da bei manchen Versuchen, die eine längere Zeit dauern, die Oberfläche der Zinkplatten stark oxydirt wird, oder mit einer Schicht von basischem Chlorzink sich überzieht, auch die Pappscheiben stark daran adhäriren, so müssen sie nach gemachtem Gebrauche mit warmem Wasser sorgfältig abgespült und mit Sand und Asche gut gescheuert werden. Die Kupferplatten, die nur beim Gebrauche des Salmiaks stark angegriffen werden, werden am besten mit Branntweinspülig gereinigt, in welchem man sie eine Zeit lang liegen läfst.

BB. Zellen-Apparate.

Sehr bald wurden die gewöhnlichen Volta'schen Säulen durch die *Zellenapparate* (die man zu den Trogapparaten im weitern Sinne rechnen kann und die von mehreren Physikern auch mit diesem Namen bezeichnet worden sind) verdrängt. Cruikshank[2] war der erste, der sie in Anwendung brachte. Er liefs aus Holz, das im Backofen getrocknet war, eine Art von Trog machen, der 26″ lang, 1,7″ tief und 1,5″ breit war, und in dessen Längenwände Falzen eingeschnitten wurden, jede ungefähr 0,1″ tief und so breit, dafs zwei auf einander gelöthete Platten Zink und Silber, jede von 1,6 Quadratzoll Oberfläche, sich genau hineinschieben liefsen. Die Falzen hatten eine solche Entfernung von einander, dafs je drei derselben eine Länge von 1,3″ einnahmen, so dafs die ganze Maschine 60 Plattenpaare faſste. Die zusammengelötheten

1 Diese Einrichtung mit einigen Verbesserungen ist entlehnt aus Erfahrungen über die Heilkräfte des Galvanismus vom Hofrath Hellwag in Eutin. Hamburg 1802.

2 G. VII. 99.

Digitized by Google

Metallplatten wurden mittelst eines Kittes aus Harz und Wachs völlig wasserdicht in den Trog gekittet, so dafs kein Tropfen Flüssigkeit aus einer Zelle in die andere dringen konnte. Die Zellen oder Zwischenräume zwischen den Metallplatten füllte er mit Salmiakauflösung. Es versteht sich von selbst, dafs die Plattenpaare alle einerlei Stellung haben und in allen die Silberseite nach derselben Seite hin gerichtet seyn mufs. Berührt man (bemerkt Cruikshank) die Flüssigkeit in der ersten und letzten Zelle, so erhält man einen starken Schlag in den Armen, der sich von dem Schlage einer gewöhnlichen Volta'schen Säule etwas unterscheidet, indem er lebhafter, minder bebend (*less tremulous*) und ähnlicher dem gewöhnlichen elektrischen Schlage ist. Indem sich Cruikshank zwei solche Maschinen, jede von 50 Plattenpaaren, verfertigen liefs, konnte er sie zu einer einzigen von 100 Plattenpaaren vereinigen. Eine solche gab einen heftigen Schlag, wobei der Funke selbst bei Tage sichtbar war, aber merkwürdig schwach erschien ihm die geringe Kraft, welche sie in der Zersetzung des Wassers äufserte, in der sie nicht mehr that, als höchstens eine gewöhnliche Säule aus 30 Plattenpaaren, deren Schläge nicht $\frac{1}{4}$ so stark als die des Zellenapparats waren. Um nach gemachtem Gebrauche die Zinkplatten zu reinigen, gofs Cruikshank in die Zellen verdünnte Salzsäure und liefs sie darin einige Minuten stehn. Auch noch nach einem einen Monat lang fortgesetzten Gebrauche zeigte sich die Maschine bei neuer Füllung noch ebenso wirksam, wie im Anfange, und ihre Wirksamkeit wurde aufserordentlich verstärkt, als Cruikshank zur Kochsalzauflösung etwas Salpetersäure oder Salzsäure hinzufügte. — Diese Zellenapparate wurden bald durch Vergröfserung der Oberfläche der Plattenpaare und durch Vereinigung vieler einzelner Tröge zu einer als ein Ganzes wirkenden Maschine ins Riesenmäfsige verstärkt. Pfeys's Apparat[1] bestand aus 60 Paaren Zink- und Kupferplatten, in zwei nach der beschriebenen Art eingerichteten Trögen vertheilt. Diese bestanden aus Mahagoniholz mit einem Firnifs überzogen, zum Schutze gegen die Flüssigkeit der Zellen und um eine Ausgleichung der Elektricität durch die Wände zu verhüten. Die Platten waren Quadrate von 6″ engl. Seite, und, um länger brauchbar zu seyn, so dick, dafs jedes Plattenpaar 4 Pfund wog; jeder Fig. 4.

1 G. XV. 237. 466.

Trog war an seinen beiden Enden mit Zapfen versehn, welche auf der Querseite des für den Apparat bestimmten Tischchens auflagen und so angebracht waren, dafs der Schwerpunct des Trogs unter der Linie durch beide Zapfen lag. Die Tröge stellten sich daher nicht blofs von selbst horizontal, sondern liefsen sich auch leicht umkehren, wenn man sie ausgiefsen wollte. Zur bequemern gleichzeitigen Füllung der Fig. 5. Zellen dienten zwei Gefäfse. Das eine stellt eine Vereinigung von 6 Trichtern vor, die so eingerichtet sind, dafs sie in 6 an einander stofsende Zellen hineinreichen. Das andere ist Fig. 6. ein Gefäfs von Zinn mit sechs Abtheilungen und ebenso vielen Ausgüssen, deren jede genau so viel Flüssigkeit als eine einzelne Zelle fafst. Vermittelst dieser beiden Geräthschaften lassen sich die Tröge schnell und bequem mit jeder Flüssigkeit füllen. Man setzt die Trichter in 6 Zellen, taucht das andere Gefäfs in die Flüssigkeit, bis es gefüllt ist, und giefst es in alle 6 Zellen zugleich aus. Zur Füllung der Zellen wurden 32 Pfund Wasser und 2 Pfund concentrirter Salpetersäure verwandt. Die beiden Tröge wurden an dem einen Fig. 7. Ende durch einen Metallbogen verbunden. FF sind die beiden Hauptleiter, aus zwei Stäben von Kupfer mit einem Wulste bestehend. Sie gehn durch Löcher, welche im Deckel des Tischchens angebracht sind, in die Endzellen der Tröge hinab. Auf sie lassen sich zwei andere in ein Knie gebogene hohle Metallleiter und auf diese wieder zwei andere GG, die sich mit einer Kugel endigen, aufschieben. Auch lassen sich, wenn der Versuch es erfordert, zwei Schälchen auf die Hauptleiter aufschieben. Die beste Art, die Verbrennungsversuche anzustellen, ist, dafs man den einen der Hauptleiter in eine Schale voll Quellwasser leitet und auf den andern die Körper, die man verbrennen will, befestigt. Kohlen von Buxbaum wurden in einer Länge von 2″ rothglühend und blieben es fortdauernd. Der elektrische Strom vermochte Kohlen selbst dann noch zu entzünden, wenn er durch 16 Menschen gegangen war, die sich mit feuchten Händen angefafst hatten. Rollblei verbrannte mit grofser Lebhaftigkeit, indem es Garben von Funken mit Rauch aussprühte. Blattsilber verbrannte mit einem intensiven grünen Lichte und Blattgold mit einem glänzenden Lichte, ohne Funken und Rauch. Platindraht, $\frac{1}{15}$″ dick, wurde rothglühend und schmolz zu Kügelchen.

Digitized by Google

Doch die gröfsten Zellenapparate sind die des *Royal Institution* in London und der *École polytechnique* in Paris. Jener besteht aus 24 Plattenpaaren Kupfer und Zink, jede von 12″ Seite, aus 100 Plattenpaaren, jede von 6″ Seite, und aus 150 Plattenpaaren, jede von 4″ Seite. Zur Zersetzung des Kali's und Natrons wendete H. Davy die beiden letzteren an, so dafs also 250 Plattenpaare in Wirksamkeit gesetzt wurden. Die Zellen selbst wurden mit einem Gemische von Alaunauflösung und verdünnter Salpetersäure gefüllt.

Von dem grofsen Zellenapparate der *École polytechnique*, durch welchen die Franzosen den Engländern nacheiferten, haben Gay-Lussac und Thénard eine ausführliche Beschreibung und Abbildung gegeben[1]. Dieser Apparat besteht aus 500 gleichen Plattenpaaren aus Kupfer und Zink, die zusammen gelöthet sind, jedes Plattenpaar 4 Kilogrammen (8 Pfund) und zwar das Kupfer 1, das Zink 3 Kilogrammen wiegend, deren grofse Seitenflächen Vierecke von 0,3 Meter Seite (11,1 paris. Zoll) bilden, und 100 Plattenpaaren von demselben Gewichte und derselben Oberfläche, aber in Gestalt eines Rechtecks 0,6 Meter lang und 0,15 Meter breit. Die Platten sind in 7 hölzernen Rahmen befestigt. Zwei auf einander folgende Plattenpaare sind an drei Rändern durch hölzerne, mit einem Harzfirnisse überzogne Lineale getrennt, ihre Entfernung beträgt ungefähr 1½ Linien. Alle Plattenpaare desselben Rahmens sind von aufsen mit Firnifs überzogen, so dafs der Raum, welcher zwei auf einander folgende Plattenpaare trennt, nur an einer einzigen Seite offen ist, an welcher die Flüssigkeit hineingegossen wird. Um die Zellen zu füllen, stellt man die 7 Rahmen parallel neben einander, und etwas höher an dem einen Ende jedes derselben zwei Tonnen, die eine voll Flufswasser, die andere voll der sauren Flüssigkeit, welche den elektr. Strom erregen soll. Der Rahmen wird so gestellt, dafs die obere Fläche der Plattenpaare etwas geneigt ist, und hölzerne gefirnifste Leisten, welche längst der Ränder dieser Platten gestellt werden, halten die Flüssigkeit, die aus den Tonnen fliefst, zurück, bis sie die Zwischenräume erreicht hat, die diesen Tonnen zunächst stehn.

1 Recherches physico-chimiques. Par. 1811. p. 1. Ausgezogen in G. XXXII. 41.

Digitized by Google

Durch einen Heber fliefst die Flüssigkeit in einen hölzernen Trichter ab, der über dem mittelsten Zwischenraume hängt. Da alle Platten in dem untern Theile in der Mitte ihrer Breite ein cylindrisches Loch haben, so füllen sie sich von dem mittlern Zwischenraume aus. Die Löcher an den beiden Endplatten sind durch einen Stab von Fischbein mit Wachs überzogen und einen Pfropfen geschlossen. Nach beendigtem Versuche wird die Flüssigkeit abgelassen und mit dem Flufswasser aus den andern Tonnen werden die Zwischenräume sorgfältig ausgewaschen.

Die Erfolge mit diesem Apparate boten jedoch nichts Aufserordentliches dar. Die Länge der verbrannten oder zum Glühen gebrachten Eisen- und Platindrähte ist nicht angegeben. Baryt, Strontian und Kalk zeigten am negativen Pole deutliche Zeichen des Verbrennens, insbesondere zeigte der Kalk das Schauspiel einer sehr rothen, oft erneuerten Flamme. Nach 12 bis 15 Minuten nach der Füllung hatte, der Apparat seine Wirksamkeit schon gröfstentheils verloren.

CC. Eigentliche Trogapparate. Becherapparate.

Von den Zellenapparaten unterscheiden sich noch die *Trogapparate* im engern Sinne, bei welchen die hierzu eigends eingerichteten Combinationen der Metallplatten in eigends eingerichtete Tröge erst beim Gebrauche eingetaucht und nach demselben wieder herausgenommen werden.

Die erste Idee zu diesen Trogapparaten gab der Becherapparat (*Corona di tazze*), welcher von dem berühmten Erfinder der Säule selbst herrührt und welcher auch bald von einigen Experimentatoren, namentlich von Davy[1], Brugnatelli[2] und Desormes[3], zur Aufklärung der Theorie der Säule mit Nutzen gebraucht wurde. Eine Reihe von Gläsern oder Bechern (die nur nicht metallisch seyn dürfen) wird mit warmem Wasser oder einer Salzauflösung angefüllt und in jedes Glas eine Zink- und Silberplatte getaucht, die sich aber nicht berühren dürfen. Jede Platte mufs einen verlängerten Streifen oder Haken haben, mittelst dessen die Platten der verschie-

1 G. VIII. 300.
2 G. VIII. 237.
3 G. IX. 18.

Digitized by Google

denen Gläser sich so in Verbindung setzen lassen, dafs das Zink des ersten Glases das Silber des zweiten, das Zink des zweiten Glases das Silber des dritten berühren und so ferner, bis Zink und Silber aller Gläser auf diese Art mit einander verbunden sind. VOLTA nahm Platten von einem Quadratzoll Oberfläche, die sie unter einander verbindenden Streifen können auch bloſse Drähte seyn. Die beiden äufsersten Gläser stellen bei dieser Anordnung die Pole dieser Art von Säule dar und die Schliefsung zwischen dem ersten und letzten Glase mit den Fingern bringt einen elektrischen Schlag hervor.

Eine Abänderung dieses Becherapparats rührt von OERSTED her, welche GAHN noch etwas verbesserte[1]. Letzterer nahm nämlich 4 Zoll hohe und einen Zoll weite Gläser und legte auf den Boden eines jeden etwas Blei, Zinn oder Zink oder ein aus diesen Metallen gemischtes Amalgam. Das schmale Ende eines zuvor in Quecksilberauflösung getauchten und dieses Ende ausgenommen mit einer Mischung aus Wachs und Harz überzogenen, streifenförmig geschnittenen Kupferblättchens wurde in dieses Amalgam gesteckt, das andere breitere nicht überzogene Ende in das andere Glas hineingebogen, so dafs es in einiger Entfernung über dem Amalgam blieb. Auf das Amalgam warf GAHN einige Zinkstückchen, füllte in die Gläser liquiden schwefelsauren Zink, dem noch etwas Schwefelsäure zugesetzt wurde, und überzog den Rand der Gläser mit einer Mischung aus Wachs und Harz, um das Uebersteigen salziger Flüssigkeiten über die Ränder zu verhindern. Das Amalgam dient nur zur genauern und vollständigern Berührung zwischen Zink und Kupfer. Der Vortheil dieser Einrichtung besteht vorzüglich darin, dafs man einzelne Zinkstückchen und Körner anwenden und, wenn das Metall oxydirt und aufgelöst ist, neue Stücke hineinwerfen kann.

Diese Becherapparate gestalteten sich später zu den eigentlichen Trogapparaten und in dieser Form wuchs der Volta'sche Embryo unter den Händen der Physiker zur riesenmäfsigen Gröfse. Den eigentlichen ersten Trogapparat gab WILKINSON an[2]. Einen Trog nämlich, wie er zu den Zellenapparaten längst in England gebräuchlich war, theilte er, statt

1 G. XIV. 237.
2 G. XXVI. 361.

Digitized by Google

die zusammengelötheten Plattenpaare in Falzen desselben einzulassen, durch hölzerne Zwischenwände, welche einen halben Zoll von einander entfernt und auf das beste verkittet waren, in einzelne Zellen ab. Je eine Zink- und eine Kupferplatte, die etwas kleiner als diese Zellen waren, liefs er an das Ende eines Metallbogens anlöthen, der so lang war, dafs sich die Platten in zwei an einander stofsende Zellen hineinschieben liefsen. Auf jedem dieser Bogen war zu oberst ein Ring so angelöthet, dafs er, wenn die Platten in die Zellen eingesenkt waren, senkrecht auf der Axe des Trogs stand und dafs sich dann ein eiserner Stab durch alle Ringe hindurch schieben liefs. Dieses geschieht, wenn man die Platten wieder herausnehmen will, um sie vom Oxyde zu befreien. Durch diese Einrichtung ward der doppelte Vortheil erreicht, dafs auch die zweite Fläche jeder Metallplatte, die bei dem Zellenapparate durch das Zusammenlöthen verloren geht, so wie der Theil der Oberfläche, der bei letzterer Einrichtung in die Falze eingekittet ist, mit in Wirksamkeit versetzt wird oder als erregende Oberfläche mit wirkt. Dafs ein solcher hölzerner Trogapparat auf das vollkommenste an seiner innern Oberfläche mit einem gut isolirenden Kitte überzogen seyn mufs, um alle Ausgleichung der Pole durch die Seitenwandungen des Trogs und um jede Communication der Flüssigkeit von einer Zelle zur andern, die denselben Nachtheil herbeiführen würde, zu vermeiden, versteht sich von selbst. In einem sehr grofsen Mafsstabe wandte Children[1] einen solchen Trog an, und zwar in seinen ersten Versuchen durch Vergröfserung der Platten zu einer Länge von 4 engl. Fufs und einer Breite von 2 Fufs, in seinen spätern Versuchen[2] sogar zu einer Länge von 6 Fufs und einer Breite von 2 Fufs 8 Zoll, die also an beiden Seiten zusammengenommen 32 Quadratfufs Oberfläche hatten. Die Zink- und Kupferplatte jedes Plattenpaares waren mit einander durch einen Streifen Blei verbunden und alle Platten in der bekannten Folgenreihe an einen hölzernen Rahmen gebunden, der an Seilen und Rollen durch Gegengewichte im Gleichgewichte hing, daher er sich leicht hinab und herauf bewegen liefs, so dafs man die

1 G. XXXVI. 364.
2 G. LII. 133.

Digitized by Google

Platten nach Willkür in die Tröge hinablassen und wieder herausziehn konnte. Der Trog von Holz bestand aus 21 Zellen, welche zusammen 940 Gallonen Flüssigkeit (jede zu 191 Pariser Duodecimalkubikzollen oder $3\frac{1}{10}$ Berliner Quart) fafsten. In jeder der beiden äufsersten Zellen befand sich demnach nur eine Platte, und zwar in der einen eine Kupferplatte, die zu der in der nächsten Zelle hängenden Zinkplatte gehörte, in der andern äufsersten eine Zinkplatte, die mit der in dem vorangehenden Troge hängenden Kupferplatte zusammenhing. An jedem Pole der Batterie war eine Röhre von Blei von 0,75 Z. Durchmesser gelöthet, deren anderes Ende in ein Gefäfs mit Quecksilber herabging. An jedem Ende des Trogs stand eines dieser Gefäfse und das Quecksilber in beiden ward in leitende Verbindung gesetzt, wie man die Batterie schliefsen wollte. Mit dieser vorzüglich durch die grofse Oberfläche der einzelnen Platten ausgezeichneten Batterie wetteiferte eine nach demselben Principe eingerichtete durch die aufserordentliche Zahl ihrer Plattenpaare, welche für das *Royal Institution*, dessen Mitglieder über 1000 Pfd. Sterling unterschrieben, angeschafft wurde [1] und aus 2000 Plattenpaaren Zink und Kupfer, jede Platte von 6 Zoll Seite, bestand, die in 200 hölzerne Tröge vertheilt waren. Die Einrichtung eines einzelnen solchen Trogs erkennt man aus der Abbildung. Er enthält 10 Zellen, dazu gehören 18 viereckige Platten, welche je 2 und 2 (eine Zink- und eine Kupferplatte) an den schmälern oben zweimal rechtwinklig gebogenen Metallstreifen angelöthet und durch diese Metallstreifen an einen, besonders an dieser Verbindungsstelle stark lackirten Querbalken angeschraubt sind, mittelst dessen sie sich alle, ohne ihre Lage zu verändern, auf einmal in ihre Zellen hineinsetzen und herausnehmen lassen. Die Endplatten hängen durch verlängerte Metallstreifen mit denen des daran stofsenden Trogs zusammen, so dafs sie zu einer ganzen Batterie vereinigt werden können. Am Ende des Julius 1810 wurde diese Batterie zum erstenmal im *Royal Institution* in Wirksamkeit gesetzt und dadurch im luftleeren Raume Kohle verflüchtigt, Iridium und auch Thonerde an der Oberfläche geschmolzen. Eine wesentliche Verbesserung erhielten diese Fig. 8.

1 G. XXXVII. 51.

Apparate durch Anwendung zweier Kupferplatten auf jede Zinkplatte. Diese Verbesserung wurde zuerst von Children bei seinem Riesenapparate angewandt. Er bemerkt[1], dafs, als er im Anfange blofs eine gleich grofse Kupferplatte, wie die Zinkplatte, anwandte, der Erfolg seiner Erwartung gar nicht entsprach; als er aber jedes Plattenpaar noch mit einer zweiten Kupferplatte versah, so dafs zu jeder Zelle des Trogs eine Zinkplatte und zwei Kupferplatten gehörten und jeder der beiden Oberflächen einer Zinkplatte eine Kupferplatte gegenüberstand, welche Veränderung er dem Rathe des Dr. Wollaston zufolge gemacht hatte, die Wirksamkeit der Batterie nach einigen vergleichbaren Versuchen wenigstens verdoppelt wurde. Die Trogapparate, wie sie jetzt in England verfertigt werdn, sind nach dieser verbesserten Einrichtung. An die Stelle der hölzernen Tröge sind Tröge von Wedgwood'scher, wohl glasirter Masse getreten, welche in hölzernen Behältern stehen, aus welchen sie mit ihrer halben Höhe hervorragen. Sie enthalten gewöhnlich 10 Zellen, deren Höhe und Länge 5 Z. Par. und deren Breite (der Abstand einer Zwischenwand von der andern) 1,5 Zoll beträgt. Jede Zinkplatte hat 4 Zoll Seite, auf jeder Seite von der Kupferplatte umschlossen, welche aber nicht mit ihr sondern mit der Zinkplatte in der nächst daran stofsenden Zelle zu einem Paare vereinigt ist. Fig. 9. Die Zeichnung stellt die Einrichtung eines solchen Elements in senkrechtem Durchschnitte dar. CC ist die Zelle, in welche dasselbe eingesenkt ist, z die 2 Linien dicke Zinkplatte, an welcher oben in der Mitte ein schmaler rechtwinklig gebogener Ansatz z′ sich befindet, der genau an den Fortsatz K′K′ der Kupferplatte in der nächst darauf folgenden Zelle anschliefst und durch eine Schraube an das Querholz LL, welches alle zu einem Troge gehörige Plattenpaare trägt, befestigt ist. Die Kupferplatte KK von mäfsig dickem Kupferblech umschliefst auf beiden Seiten und unten das Zink, und ist, doch ohne unmittelbare Berührung, dadurch in eine feste Verbindung mit demselben gebracht, dafs dieselbe über 4 eingeschaltete halbcylindrische Holzstücke h h, h′h′, wovon zwei oben und zwei unten am Rande der Zinkplatte sich befinden, übergeschlagen ist. Die Zinkplatte selbst ist mit einem kleinen

1 G. LII. 355.

Theile ihres obern und untern Randes in diese Hölzchen eingelassen. Diese Kupferplatte verlängert sich auf der einen Seite in ihrer Mitte in einen schmalen Streifen b, welcher rechtwinklig gebogen sich über den Anhang der Zinkplatte Z′ in der nächst daran stofsenden Zelle endigt und damit in die genaueste metallische Berührung kommt. An der Zinkplatte in der letzten Zelle ist ein längerer Kupferstreifen angelöthet, um die metallische Verbindung mit der Kupferplatte zu unterhalten oder sonst als Leiter zu dienen.

DD. Kastenapparate.

Oersted[1] und Graf Stadion in Wien[2] haben diese Apparate angegeben. Sie bestehn aus schmalen, parallelepipedischen Trögen oder Kasten von Kupferblech. Die meinigen haben eine Höhe und Länge von 10″; sind aber nur einen halben Zoll breit. Man stellt dieselben auf ein isolirendes (überfirnifstes) hölzernes Gestell so mit ihren breiten Seiten neben einander, dafs sie einander nicht berühren, aber doch einander nahe genug stehn. An der einen Seite jedes Kastens ist am Ende des obern Randes aufsen ein einen bis anderthalb Zoll langer, an seinem Ende aufwärts gebogener Stab von Kupfer angelöthet, so dafs auf diese Weise alle Stäbe zusammen einer Kupferstange zur Unterlage dienen, um welche eine Zinkplatte von 9″ Seitenlänge mit ihrem obern Rande umgeschlagen wird und in den nächst angrenzenden Kasten hinabhängt, mit welchem sie in keine metallische Berührung kommen darf, was man am sichersten dadurch verhindert, dafs man ihren untern Rand in eine schmale überfirnifste Holzleiste einläfst, die auf beiden Seiten etwas übersteht. KK, K′K′ sind zwei solche auf einander folgende kupferne Kasten in ihrem senkrechten Durchschnitte, a, a die am obern Ende auf beiden Seiten angelötheten, am Ende aufwärts gebogenen Kupferstäbe, wovon an jedem Kasten nur der eine sichtbar ist, b die auf ihnen ruhende kupferne Stange, welche von der Zinkplatte z, die in den nächstfolgenden Kasten hinabhängt, mit ihrem umgebogenen Rande umfafst wird. Der erste Kupferkasten kk und die damit in metallischer Berüh- Fig. 10.

1 Schweigger's Journ. XX. 213.
2 G. LV.

Digitized by Google

rung stehende Zinkplatte z stellen auf diese Weise ein Plattenpaar dar. Man kann die Verbindung der Zinkplatte mit dem Kupferkasten auch noch auf andere Weise erreichen. Eine solche Einrichtung nach Oersted stellt die Zeichnung Fig. 11. und 12. dar. Der kupferne Bügel DE hat bei E einen Einschnitt für die Zinkplatte, welche besonders abgebildet ist. Diese Platte hat oben einen Kopf A, mit welchem sie auf dem Bügel aufruht. Der breite Theil der Zinkplatte BCDE hängt mittelst eines schmalen Halses an diesem Kopfe. Bei F, G und H sind kleine hölzerne Stifte angebracht, um die Berührung des Zinks mit dem Kupfer zu verhindern. Statt der parallelepipedischen Kasten nahm Oersted auch cylindrische, in welche concentrische hohle Cylinder von Zink von verhältnifsmäfsig kleinerem Durchmesser an einem starken Bügel, durch welchen sie mit dem vorangehenden Kasten verbunden sind, herunterhängen.

EE. Andere Volta'sche Apparate.

Man hat noch manche andre hydroelektrische Apparate in Vorschlag gebracht, welche einer der vier Hauptgattungen, die wir unterschieden, mehr oder weniger nahe kommen, und bei denen man theils gröfsere Bequemlichkeit, theils gröfsere Wirksamkeit, oder auch eine längere Dauer der Wirkung ohne merkliche Schwächung, endlich auch gröfsere Wohlfeilheit beabsichtigte. Dahin gehört Erdmann's sogenannter *Kapseln-Apparat*[1]. Er besteht aus viereckigen Zink- und Kupferplatten, mit stumpfen Ecken 14″ ins Gevierte. In jeder Zinkplatte ist an dem einen Rande eine kleine runde Rinne eingefeilt. Aus ganz dünner Pappe, nicht stärker als ein Kartenblatt, schnitt er sich dünne Rahmen aus, nur 1 Lin. breit. Diese wurden mit einer Auflösung von Mastix und Sandarac in Terpentinöl getränkt, sodann auf die Zinkplatte dergestalt gelegt, dafs die offene Seite des kleinen Papprahmens mit der Seite des Zinks zusammentraf, auf welcher sich die Rinne oder der Eingufs befand, die Kupferplatte darauf gelegt und mit der Zinkplatte so lange zusammengepreſst, bis der Lack in dem zwischenliegenden Rahmen trocken war. Auf diese Art entstand aus zwei heterogenen Metallplatten ein Behälter oder eine Kapsel,

1 G. XII. 458.

Digitized by Google

die zur Aufnahme einer sehr dünnen Schicht von Flüssigkeit geschickt war. Um derselben noch mehr Festigkeit zu geben und um dieselbe noch besser zu isoliren, überzog Erdmann die Ränder mit dem erwähnten mit Zinnober versetzten Oellack. Diese Metalkapseln wurden in einem Kasten in horizontaler Richtung so an einander gereiht, dafs die Kupferseite der einen Kapsel stets an die Zinkseite der andern zu liegen kam, und in solcher Lage, dafs die Rinne, durch welche der kleine innere Zwischenraum mit der Flüssigkeit gefüllt wurde, nach oben stand. Durch einen auf solche Weise construirten Apparat will Erdmann, was die Schläge und Funken betrifft, eine wenigstens noch einmal so starke Wirkung erhalten haben, als durch eine Volta'sche Säule von gleicher Gröfse der Platten und gleicher Zahl der Elemente.

Professor Hauff in Marburg[1] liefs sich kleine Glaskugeln von 2¼″ Durchmesser blasen, mit einem Tubulus und Glasstöpsel versehn, und schliff dann von beiden Seiten der Kugel Segmente von gleicher Gröfse und einander parallel ab. An die eine Seite kittete er eine Kupferscheibe luftdicht an, an der andern wurde ein messingner Ring mittelst Schmirgel auf das Glas aufgerieben, und wenn er überall genau pafste, mittelst eines kalten Kitts, womit man die Röhren der Wasserleitungen an einander zu kitten pflegt, so auf das Glas befestigt, dafs er luft- und wasserdicht schlofs. Dieser messingne Ring war mit einer Mutterschraube versehn, in welche ein zweiter, an die Zinkplatte gelötheter und mit Schraubengängen versehener Messingring sich einschrauben liefs. Statt der Glaskugeln wandte Hauff auch Glascylinder von 1 Zoll Höhe und 1,5 Zoll Weite an, an beiden Enden offen, an welche, wie an die Glaskugeln, die Zink- und Kupferplatten befestigt wurden. Diese einzelnen Elemente wurden in einem passenden Gestelle in horizontaler Richtung und in gehöriger Ordnung an einander gereiht, so dafs immer eine Zinkplatte mit der Kupferplatte des daran stofsenden Glascylinders in Berührung kam. Zur Füllung wurde eine Salmiak-Auflösung gebraucht. Hauff schreibt seinem Apparate eine sehr grofse Wirksamkeit zu, die Monate lang ungeschwächt fortgedauert habe, wobei die Oxydation des Zinks nur ganz unbedeutend

1 G. XV. 77.

Digitized by Google

gewesen seyn soll. Wie wenig Vertrauen aber seine Angaben verdienen, ersieht man am besten daraus, dafs er einen solchen Apparat dadurch in seiner Wirksamkeit verdoppelt haben will, dafs er je zwischen zwei solche Glasbehälter zwei ganz trockene Metallplatten brachte, nach folgendem Schema: (Zink, feuchter Leiter, Kupfer,) Zink, Kupfer, (Zink, feuchter Leuter, Kupfer) Zink, Kupfer u. s. w., wo die durch das Zeichen ( ) verbundenen Glieder ein Continuum oder das ursprüngliche Element bildeten; dafs er ferner den Apparat auch dann wirksam beobachtet haben will, wenn die mit keinem Tubulus versehenen Cylinder, die vorher mit der Flüssigkeit gefüllt worden waren, ehe die Zinkplatte aufgeschraubt wurde, vollkommen dicht verschlossen waren und die in der Flüssigkeit sich entwickelnden Gase keinen Ausgang fanden.

Ritter brachte einen sogenannten *Schüsseln-Apparat* in Vorschlag[1]. Diese Art von Säule besteht aus einer Reihe in einem passenden Gestelle über und in einander gehängter Kupferschüsseln, die so mit einer verdünnten Säure gefüllt sind, dafs die Flüssigkeit der einen Schüssel stets die Bodenfläche der andern berührt, und wird dadurch in Thätigkeit gesetzt, dafs man in jede Schüssel mehrere kleine Stückchen Zink wirft, die für jede Schüssel 1 bis 1,5 Quadratzoll, auch noch weniger betragen, während die erregende Oberfläche jeder Schüssel selbst 30 bis 40 Quadratzoll beträgt. Ein solcher Sohüsselnapparat von 50 Abwechselungen mit 40fach verdünnter Schwefelsäure soll an Mächtigkeit einer guten Salmiaksäule von 50 Lagen 30 quadratzolliger Platten nahe kommen, bei 30fach verdünnter Schwefelsäure sie übertreffen und bei 15fach verdünnter noch unbestimmte Male stärker wirken, obgleich ihre Spannung beständig viel niedriger bleibt, als sie bei gewöhnlichen Säulen gleicher Lagenzahl ist.

Ganz neuerlich hat der Schotte Kemp einige sinnreiche Säulenapparate angegeben, die sich dadurch empfehlen, dafs sie die Vortheile der gewöhnlichen Volta'schen Säulen mit denen der Zellen- und Trogapparate vereinigen. Ein solcher Apparat[2] besteht aus runden hölzernen Schalen von 0,5 Zoll Tiefe und 3 Zoll Durchmesser ABCD mit einem überspringenden Rande

Fig. 13.

1 Gehlen's Journ. d. Ph., Ch. u. Min. V. 303.

2 Das Laboratorium. XXII. Heft. Weimar 1830.

Digitized by Google

AB. EF ist eine runde, an der untern Fläche convexe Zinkplatte, im Abstande von $\frac{1}{4}$ Zoll durch einen Kupfer- oder Zinkdraht mit der Schale so verbunden, dafs das eine Ende durch den Boden der Schale durchdringt und inwendig $\frac{1}{4}$ Zoll vorsteht. Der ganze Verband wird dann durch einen Wachsüberzug wasserdicht gemacht, wobei man jedoch darauf sieht, dafs die vereinigende Drahtspitze ganz frei von Wachs bleibt. Eine Quantität Quecksilber, gerade hinreichend, den Boden zu bedecken, wird alsdann in die Schale geschüttet, welche durch den Draht mit der Zinkplatte EF in Verbindung steht. Auf das Quecksilber wird verdünnte Salzsäure aus einem Theile concentrirter Salzsäure und 10 Theilen Wasser gegossen, so dafs die Schale beinahe dadurch gefüllt wird. Auf diese Weise hat man ein vollständiges Volta'sches Element, welches aus Zink, Quecksilber und Säure besteht. Indem man nun die Reihe fortsetzt, kann man sie beliebig vermehren. Nachdem man das Quecksilber und die Säure eingetragen hat, setzt man sie, um die Säule aufzubauen, über einander, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist. Die Zinkplatte der einen Schale wird alsdann mit der Säure der unmittelbar unter ihr stehenden Schale in Verbindung seyn und die Schale selbst ruht in einem kleinen Falz, welcher ringum am untern Theile des Randes angebracht ist. Auf diese Weise kann man jede Zahl von Schalen über einander bauen und nöthigen Falls durch Glasstäbe, welche in die Basis eingefügt sind, in ihrer gehörigen Lage erhalten. Dieſs ist jedoch nur bei Schalen von kleinem Durchmesser nöthig, auch kann man mehrere kleine Säulen neben einander aufbauen und auf die bekannte Weise zu einer Säule mit einander verbinden. Bei der angegebenen Art des Aufbauens befindet sich der negative Pol nach oben, der positive nach unten. Die Communication der Pole geschieht durch knieförmige, messingene Röhren, die mit den Endplatten verbunden werden. Die Zinkplatten sind darum an ihrer untern Fläche convex, damit das aus der Salzsäure sich entwickelnde Wasserstoffgas sich nicht an derselben ansammele, sondern immerfort entweiche. Fig. 14.

Noch vortheilhafter fand Kemp eine Einrichtung, bei welcher der positive Erreger vielmehr flüssig und der negative starr war. Sie stimmt ganz mit der angegebenen überein, aufser dafs statt der Zinkplatte an der untern Fläche der Scha-

Digitized by Google

len Kupferplatten angebracht sind und man in die Schalen ein Quecksilberamalgam gieſst, das man aus einem Theile Zink und vier bis fünf Theilen Quecksilber, die in einem Schmelztiegel bis nahe zum Siedpuncte des Quecksilbers erhitzt werden, bereitet und zu welchem man noch nach dem Erkalten einen Theil Quecksilber hinzufügt. Die Zeichnung giebt eine Vorstellung dieser Schüsseln von oben herab betrachtet. E F ist eine runde Kupferplatte, mittelst eines kupfernen Drahtes, an welchen ein Schraubengang geschnitten ist, an die Schale befestigt. Der Draht läuft durch die Schale und schraubt sich in die messingne Nufs I, welche inwendig in die Schale eingelassen ist. Der hölzerne Knopf bewirkt, dafs die Kupferplatte in ihrem gehörigen Abstande erhalten werde. In diesem Falle dauert die Wirkung so lange fort, als noch nicht alles Zink in der Salzsäure sich aufgelöst hat, wobei das Quecksilber selbst nicht angegriffen wird und stets wieder zur Bereitung von neuem Amalgam verwendet werden kann. Der positive Pol befindet sich in diesem Falle nach oben, der negative unterwärts. Damit das Wasserstoffgas entweichen könne, sind die Kupferplatten mit vielen Löchern durchbohrt. Eine Säule blofs von 12 Schalen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, mit obiger Salzsäure in Thätigkeit gesetzt, war so wirksam, dafs bei der Schliefsung der Kette mittelst eines Drahtes und einer Platte von Zink durch ein Silberblatt eine anhaltende Verbrennung erfolgte, und um so rascher, je gröfser die Oberfläche war, in welcher das Silberblatt mit der Zinkplatte in Berührung kam. Die elektromagnetischen Wirkungen einer solchen Säule fand Kemp so stark, als die einer Batterie von Zink und Kupfer von gleicher Anzahl von Elementen und 4 Zoll ins Gevierte. Ein besonderer Vorzug dieser Säule besteht darin, dafs sich auf der Oberfläche des positiven Erregers nie eine Schicht von Oxyd bildet, indem das Zink des Amalgams fortwährend aufgelöst wird, und die Oberfläche des Quecksilbers, mit welcher die Säure in Berührung steht, stets rein und glänzend bleibt. Auch dauert die Wirksamkeit der Säule so lange fort, bis alles Zink aufgelöst ist.

Fig. 15. und 16.

Digitized by Google

B. Gesetze, nach denen sich die Stärke des elektrischen Stroms der hydroelektrischen Säule und verwandter Apparate richtet, und Bestimmung des relativen Werthes und der eigenthümlichen Wirkungsweise der verschiedenen Apparate.

Wir haben bereits unter dem Artikel *Galvanismus* die allgemeinen Grundsätze entwickelt, nach denen der Einfluſs der Verschiedenheit der Umstände, die in der Construction einer hydroelektrischen (Volta'schen) Säule vorkommen, auf die Wirksamkeit derselben in Hervorbringung der Hauptclassen von Erscheinungen, die von derselben abhängen, zu beurtheilen ist. Wir haben besonders[1] Rechenschaft von dem Einflusse der verschiedenen Beschaffenheit des feuchten Leiters, der verschiedenen Gröſse der Berührungsfläche desselben mit den Metallplatten, der verschiedenen Beschaffenheit des Körpers, durch welchen die Schlieſsung der Kette geschieht und auf welchen die Wirkung der Säule gerichtet ist, nach den Grundsätzen der Volta'schen Theorie zu geben gesucht. Nach diesen allgemeinen Grundsätzen würde demnach die verschiedene Wirksamkeit der jetzt erst näher beschriebenen hydroelektrischen Apparate zu beurtheilen seyn. Ehe wir indeſs diese Anwendung machen, ist erforderlich, nach den in neuern Zeiten in dieser Lehre gemachten Fortschritten diese Grundsätze selbst noch genauer zu bestimmen, als es von uns geschehn ist. Diese Fortschritte verdanken wir besonders den scharfsinnigen Erörterungen Ohm's [2] und den genauen Messungsversuchen Fechner's[3].

Wir können es als vollkommen bewiesen annehmen, daſs

1 Bd. IV. §. 99. S. 948.

2 Sie finden sich im Zusammenhange dargestellt in seiner Schrift: Die galvanische Kette mathematisch betrachtet. Berlin 1821. und in verschiedenen Abhandlungen in Schweigger's Journale. XLIV. 1 — 241. 308. XLVI. 137. XLIX. 1. LV. 1. Poggendorff's Annalen IV. 79. VI. 459. VII. 45. Kastner's Archiv XIV. 475. XVI. 1.

3 Maſsbestimmungen über die galvanische Kette. Von Gustav Fechner. Leipzig 1831.

Digitized by Google

alle Wirkungen der Volta'schen Säule vom dem elektrischen Strome abhängen, der durch dieselbe in Bewegung gesetzt wird und welcher, so lange sie geschlossen ist, durch sie selbst und den die Kette schliefsenden Bogen sich bewegt. Es kommt nun alles darauf an, ein genaues Mafs für die Stärke des elektrischen Stromes zu haben, um so den Zusammenhang der Verschiedenheit der Umstände, welche in der Construction der Säule möglicher Weise gegeben sind, mit der Abänderung in dieser Stärke selbst richtig würdigen zu können. Ein solches Mafs bieten die verschiedenen Wirkungen dar, die von diesem Strome abhängen und die nach Verschiedenheit seiner Stärke selbst dem Grade nach verschieden ausfallen. Diese Wirkungen sind die *chemische*, die *physiologische*, die *Wärmeerscheinungen* und die *magnetischen*. Die drei ersteren sind aber theils von so veränderlichen nicht immer genau bestimmbaren mitwirkenden Umständen abhängig, theils in ihrer Anwendbarkeit so beschränkt, dafs man sie nicht wohl zu einem solchen Mafse gebrauchen kann, und um so weniger, da es wenigstens für die Gröfse der physiologischen und selbst der chemischen keinen ganz genauen Mafsstab giebt. Dagegen vereinigen die *elektromagnetischen* Wirkungen, auf gehörige Weise angewandt, alle Bedingungen hierzu in sich, nämlich Vergleichbarkeit, Empfindlichkeit, Schärfe und weit reichenden Umfang der Anzeigen. Es könnte gegen die Anwendung derselben als Mafsstab für die Stärke des elektrischen Stromes der Einwurf erhoben werden[1], ob auch Gesetze, die mittelst elektromagnetischer Apparate für die Säule sich ergeben haben, eine Uebertragung auf andere Wirkungen als eben elektromagnetische erlauben. Es setzt nämlich dieses voraus, dafs die Kraft des Stromes eine einzige und identische sey, die nur nach der Beschaffenheit der Körper, auf die sie wirkt, verschiedenartige Wirkungen hervorbringt, wogegen denkbar wäre, dafs dem Strome Kräfte zukommen, die ihrem Wesen nach verschieden sind, mithin auch durch verschiedene Einflüsse in verschiedenem Grade verstärkt oder geschwächt werden können, wo dann jede dieser Wirkungen nur durch sich selbst gemessen werden könnte: Wirklich haben früher auch einige Physiker

1 Fechner a. a. O. S. 6.

Digitized by Google

einer solchen Annahme Gehör gegeben, und namentlich hat Ritter durch das in so manchen Stücken abweichende Verhalten der grofsplattigen Säulen, verglichen mit den kleinplattigen, in Rücksicht auf die Stärke der von ihnen abhängigen Schläge in Vergleichung mit der Wärmeerzeugung (Glühen von Metalldrähten) und den chemischen Zersetzungen, worüber noch unter dem Artikel der *secundären Säule* einige Beobachtungen Ritter's mitgetheilt werden sollen, verleitet angenommen, dafs die physiologischen Wirkungen von andern Umständen abhängen, als die übrigen. Hierzu kommen die von uns unter dem Artikel *Galvanismus* angeführten Versuche De la Rive's[1], welche diesem Physiker es nicht unwahrscheinlich machten, dafs der elektrische Strom gleichsam aus zwei Factoren bestehe, welche in ihren Leitungsverhältnissen sich verschieden verhalten, und von welchen dann auch vorausgesetzt werden könnte, dafs sie selbst nach Verschiedenheit der Umstände in einem verschiedenen quantitativen Verhältnisse gegen einander stehn und auf eine verschiedene Weise an den Wirkungen der Volta'schen Säule Antheil haben könnten, und in dem Verfolge unserer weitern Erörterung wird das Resultat immer deutlicher hervortreten, dafs der elektrische Strom die identische Ursache für die verschiedenen Wirkungen sey, die von der Volta'schen Säule abhängen, und dafs diese in dem Verhältnisse seiner Stärke gleichmäfsig wachsen.

Es läfst sich die Stärke des elektrischen Stroms vermittelst seiner elektromagnetischen Wirkungen auf verschiedene Weise messen und in genauen Mafsbestimmungen vergleichen, einmal durch die Gröfse der Ablenkung einer Magnetnadel aus ihrer normalen Lage, dann durch den Widerstand der Torsion, welche eine an einer Coulomb'schen Torsionswaage aufgehängte Magnetnadel bei ihrer Ablenkung überwindet oder mit dem sie ins Gleichgewicht getreten ist, am bequemsten aber durch die Zahl des Oscillationen, welche in einer gegebenen Zeit eine durch die gleichzeitige Wirkung des elektrischen Stromes und durch den Erdmagnetismus in ihrer normalen Lage erhaltene und aus dieser abgelenkte Nadel macht, um in ihre vorige Lage zurückzukehren. Letztere Methode

1 §. 102. S. 966.

Digitized by Google

läfst die gröfste Schärfe zu und ist das empfindlichste Reagens, um auch die kleinste Modification in der Stärke des elektrischen Stromes noch anzuzeigen. Die Anwendung dieser letztern Methode beruht auf folgendem Principe. Wird eine horizontale frei aufgehangene Magnetnadel, die sich in der Richtung des magnetischen Meridians befindet, daraus auf irgend eine Weise abgelenkt und dann der Wirkung der Kräfte, die sie in ihre Richtung zurückzuführen streben, wieder überlassen, so kehrt sie der Erfahrung zufolge durch eine Reihe von Oscillationen zurück. Die Kraft, welche die Nadel in die Lage des Gleichgewichts zurückzuführen strebt, ist proportional dem Quadrate der Anzahl von Oscillationen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder, was dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeittheile, welche zur Vollbringung einer gleichen Anzahl von Schwingungen erforderlich sind. Um nach diesem Principe jenen Mafsstab zur Bestimmung der Stärke des elektrischen Stromes anzuwenden, lasse man die im Multiplicator hängende Magnetnadel, nachdem man den Multiplicator so gestellt hat, dafs der durch die Windungen desselben gehende elektrische Strom der Nadel keine Ablenkung von ihrer normalen Lage beizubringen vermag, sondern vielmehr bestrebt ist, sie in dieser Lage zu erhalten, erst allein durch den Einflufs der magnetischen Erdkraft oscilliren, zu welchem Zweke man die Nadel durch ein Eisen- oder schwaches Magnetstäbchen aus ihrer Richtung abgelenkt hat und dann schnell dasselbe entfernt, und zähle nach dem Schlage einer guten Pendeluhr oder nach einer guten Secundenuhr mit stehenden Secunden die Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, eine gewisse Anzahl von Oscillationen zu vollbringen, indem man sich innerhalb der Grenzen von so kleinen Elongationen der Schwingungen hält, als sich mit einem merklichen Isochronismus derselben noch verträgt. Durch diese erste Zählung erhält man das Mafs der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Hiernächst läfst man den mit der Schliefsung der Kette eintretenden elektrischen Strom durch die Windungen des Multiplicators gehn und zählt wie vorhin die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, um unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und der Kraft des elektrischen Stromes dieselbe Anzahl von Schwingungen zu

Digitized by Google

vollbringen, als vorher unter dem Einflusse der Erde allein. Auf diese Weise wird man das Mafs für die Summe der Kräfte erhalten, mit welcher die Erde und mit welcher der Strom auf die Nadel wirken, und zieht man von dieser Summe die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so erhält man dadurch das Mafs der Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt. Erfordert z. B. die Nadel zu 20 Oscillationen unter dem Einflusse der Erdkraft 100 Zeittheile, so ist das Mafs der Erdkraft $\frac{1}{10000}$ oder 0,0001, weil 10000 das Quadrat von 100 ist und die Kraft sich diesem Quadrate umgekehrt proportional verhält. Gesetzt die Nadel erforderte unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des elektrischen Stromes nur 50 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so wird das Mafs für die Summe beider Kräfte seyn $\frac{1}{2500}$ oder 0,0004; wenn man mithin das erstere Mafs von dem letztgefundenen abzieht, so erhält man für das Mafs der Kraft des Stroms allein $\frac{1}{2500} - \frac{1}{10000}$ oder 0,0004 — 0,0001, also 0,0003. Mithin verhält sich die Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt, zur Erdkraft = 3 : 1. Gesetzt die Nadel gebrauche nun unter dem Einflusse eines andern Stromes 30 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so ist das Mafs für die Kraft des Stromes allein $\frac{1}{900} - \frac{1}{10000}$, d. i. 0,00101, mithin verhält sich die Kraft des zweiten Stromes zu der des ersteren wie 10,1 : 3. Zweckmäfsig ist es, in jedem Falle die Kraft der Erde als Einheit zum Grunde zu legen und hiermit dann alle verschiedene Stromkräfte zu vergleichen, welches durch Anwendung der nachfolgenden Formel sehr erleichtert wird.

Die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl Schwingungen unter dem blofsen Einflusse des Erdmagnetismus erfordert, heifse N, die Zahl der Zeittheile, die sie unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des Stromes gebraucht, heifse N', dann ist das Mafs der Kraft des Stromes

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2 \times N'^2},$$

oder, wenn man die Kraft der Erde als Einheit setzt,

$$= \frac{N^2 - N'^2}{N'^2}.$$

Digitized by Google

Wendet man statt einer einfachen Nadel eine vollkommen astatische Doppelnadel an, und wird sie so gestellt, dafs der Einflufs des Stroms sie in derselben zu erhalten strebt, so giebt das umgekehrte Verhältnifs des Quadrats der Anzahl der Zeittheile, in welcher eine gleiche Anzahl von Schwingungen unter dem Einflusse verschiedener elektrischer Ströme vollbracht wird, unmittelbar das Mafs der Stärke dieser elektrischen Ströme.

Wenn man die Abänderungen in der Stärke des elektrischen Stromes, wie sie von den Abänderungen der hydrogalvanischen Apparate abhängen und wie sie sich durch das eben angegebene Mafs am genauesten bestimmen lassen, in richtigen Zusammenhang mit den Abänderungen in den Erscheinungen bringen will, welche in allen Gliedern, die in den Kreis der geschlossenen Kette eintreten, vorkommen und welche besonders in demjenigen Gliede auftreten, das die beiden Pole einer vorher offenen Volta'schen Säule mit einander verbindet und die Kette, wie man sagt, schliefst, so müssen folgende zwei Gesetze als Leitsterne dienen, durch welche eine Menge scheinbarer Anomalieen in Einklang mit einander kommen und manche Mifsverständnisse und falsche Erklärungen beseitigt werden.

1) Wenn die Wirksamkeit irgend eines Theiles der Säule (und überhaupt einer galvanischen Kette) zunimmt oder abnimmt, dadurch dafs man die elektromotorische Kraft oder das Leitungsvermögen an irgend einer Stelle vermehrt oder vermindert, so nimmt die Wirksamkeit aller übrigen Theile der geschlossenen Säule in einem entsprechenden Grade zu oder ab, oder mit andern Worten: die Verstärkung oder Schwächung des elektrischen Stromes, die durch Abänderung des Leitungsvermögens in irgend einer Stelle der geschlossenen Säule veranlafst wird, erstreckt sich gleichmäfsig auf alle Theile der Säule.

Man überzeugt sich von der Wahrheit dieses Gesetzes im Allgemeinen leicht dadurch, dafs man an verschiedenen Stellen in die Säule Multiplicatoren mit dazu gehörenden Magnetnadeln oder Gasentbindungsröhren aufnimmt. Man wird dann finden, dafs jede an irgend einer Stelle geschehene Abänderung eine gleiche Zu- oder Abnahme der Wirkung, insofern sie durch Oscillationen der Magnetnadel in den verschiedenen Multiplicatoren oder durch die Stärke der Gasentbindung in

Digitized by Google

den verschiedenen Gasröhren erkennbar und meſsbar ist, in diesen verschiedenen Apparaten zur Folge hat.

2) Das zweite Gesetz läſst sich so ausdrücken: Die Gesammtquantität von Elektricität, welche durch jeden Querschnitt der Säule, der senkrecht durch die Richtung des Stromes geht, in derselben Zeit hindurch strömt, ist in der ganzen Länge der Säule gleich groſs und unabhängig von der besondern relativen Beschaffenheit oder Gröſse jedes Querschnittes.

Dieses Gesetz ist eine nothwendige Folge des Begriffes eines in sich zurückkehrenden Stromes und bestätigt sich unmittelbar durch die Erfahrung, daſs abgesehn von der der Schlieſsung der Kette zunächst angehörigen Wirkung, welche für den ersten Augenblick allerdings ein gewisses Maximum zeigt, die fortdauernde Wirkung, sey es Gasentwickelung in der Gasentbindungsröhre, oder Ablenkung der Magnetnadel, oder Zahl der Oscillationen der Magnetnadel in einer gegebenen gleichen Zeit, oder Glühen von Metalldrähten, so lange die Säule in sich selbst keine merkliche Veränderung erlitten hat, was freilich, in der gröſsten Strenge genommen, für keine in Wirksamkeit gesetzte Säule auch nur für eine sehr kurze Zeit gültig ist, ihrer Gröſse nach unverändert bleibt.

3) Das dritte Gesetz, welches ein unmittelbares Corollarium des zweiten ist, kann so ausgedrückt werden:

In jeder Volta'schen Säule, in welcher in Folge der Schlieſsung ein fortdauernder elektrischer Strom eingeleitet ist, verhalten sich die Intensitäten des Stromes in jedem Theile der geschlossenen Säule umgekehrt wie die Querschnitte dieser Theile senkrecht auf die Richtung des Stromes genommen.

Diese verschiedene Intensität bei gleicher Quantität ist es vorzüglich, welche bei Beurtheilung mancher Wirkungen in Betracht kommt, namentlich der Wärmeerzeugung, wie wir bei dem Phänomene des Metallglühens noch näher auseinander setzen werden. Diese *Intensität* des *Stromes* darf jedoch nicht mit der *Intensität* der *Elektricität* in der noch ungeschlossenen Säule, d. h. mit der *polaren Spannung* verwechselt werden, letztere hängt von der Menge der freien, ungebundenen und nicht mit ihrem Gegensatze im Acte der Ausgleichung begriffenen Elektricität ab und ihr Maſs ist die Repulsivkraft, welche die Theilchen derselben auf sich selbst

Digitized by Google

ausüben, die durch das Elektrometer gemessen wird, dagegen beruht die Intensität des Stromes auf der Quantität der entgegengesetzten Elektricitäten, die sich in jedem Augenblicke in einem kleinsten Theile des Raumes oder an einem kleinsten Theile eines Körpers mit einander ausgleichen und eben in dieser Ausgleichung ihre elektrometrische Aeufserung verlieren. Die mit dem Quantum dieser Ausgleichung gleichen Schritt haltenden Wirkungen, magnetische und Wärmeerregung, geben hier das Mafs. Nur derjenige Ueberschufs von Elektricität, der wegen zu grofsen Widerstandes des Leiters am Strömen verhindert wird, kann noch als freie Elektricität, die durch das Elektrometer erkennbar ist, auftreten, und je gröfser dieser Ueberschufs, d. h. je gröfser die Intensität (Spannung) der gleichsam ruhenden Elektricität ist, um so geringer ist die Intensität des Stromes und die Intensität aller derjenigen Wirkungen, die von dem Strome als solchem oder von dem Quanto der entgegengesetzten Elektricitäten, die sich in jedem Augenblicke in einem kleinsten Theilchen des Raumes ausgleichen, abhängen. Wollte man den elektrischen Strom mit dem Strome einer gewöhnlichen nicht zusammendrückbaren Flüssigkeit vergleichen, so würde die Intensität des elektr. Stromes durch die Geschwindigkeit auszudrücken seyn, welche derselbe in jedem kleinsten Theilchen des Raums hat, wonach sich eben die Menge der Theilchen richtet, die in einer gegebenen Zeit durch einen kleinsten Theil des Raumes hindurchgehn, und welche im umgekehrten Verhältnisse der Gröfse des auf die Richtung des Stromes senkrechten Durchschnittes steht. Insofern jedoch die Elektricität als eine elastische und verdichtbare Flüssigkeit anzusehn ist, so würde diese Intensität vielmehr im Verhältnisse der Dichtigkeit der sich in jedem kleinsten Raumestheile ausgleichenden Elektricitäten stehn. Hält man sich jedoch zunächst nur an die von dem elektr. Strome abhängigen Wirkungen, so kann man die Gröfse oder *Quantität* desselben als die *Gesammtkraft* erklären, mit welcher ein Durchschnitt der geschlossenen Kette wirkt, die *Intensität* aber als die *relative* Kraft, mit welcher jeder einzelne Theil des Durchschnittes wirkt.

Wendet man einen der Mafsstäbe für die Stärke des elektrischen Stromes an, wozu sich der von der Zahl der Oscillationen der Magnetnadel hergenommene am besten eignet,

Digitized by Google

so überzeugt man sich bald, dafs es immer nur zwei Momente sind, welche auf diese Stärke ihren Einfluſs äufsern und mit deren Abänderungen die Abänderungen desselben gesetzmäfsig verknüpft sind, einerseits die elektromotorische Kraft, als die nächste oder wirkende Ursache des elektrischen Stromes, und das Leitungsvermögen der Glieder, welche in den Kreis der geschlossenen Säule eingehn, als die bedingende oder vermittelnde Ursache. Die elektromotorische Kraft hängt, wie schon früher (unter dem Artikel *Galvanismus*) erörtert worden ist, einmal von der besondern elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements oder von dem elektrischen Spannungsunterschiede ab, welchen bei der gewöhnlichen Art der Construction der hydroelektrischen Säule aus zwei heterogenen Metallen und einem feuchten Leiter die Berührungsflächen zwischen dem feuchten Leiter und den heterogenen Metallen, wenn sie zur Kette geschlossen gedacht werden, zeigen, und dann von der Summe aller elektromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente, die zur Säule vereinigt sind. Diese Summe wächst, wie die Versuche über die elektroskopischen Erscheinungen der Säule gelehrt haben, im geraden arithmetischen Verhältnisse der Zahl der gleichartigen Elemente, die zur Säule mit einander vereinigt sind; die elektromotorische Gesammtkraft ist also bei allen gleichartig gebauten Säulen stets das Product aus der elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements in die Zahl der Elemente und ihr Mafs ist die freie elektrische Spannung der Pole der ungeschlossenen Säule. Den Einfluſs des zweiten Moments des Leitungsvermögens sämmtlicher Glieder, welche in den geschlossenen Kreis der Säule eingehn, betreffend kann man diesen Einfluſs als einen Widerstand betrachten, der um so geringer ausfällt, je gröfser das Leitungsvermögen dieser Glieder ist. Jeder Versuch, am genauesten mit der Magnetnadel mit Hülfe des Multiplicators, belehrt uns nämlich, dafs die Einschiebung irgend eines neuen Leiters, sey er auch von der vollkommensten Art, in den Kreis der Säule, so zwar, dafs dadurch die Säule selbst verlängert, aber nicht etwa an der Stelle der Einschiebung erweitert wird, keine Verstärkung, sondern vielmehr in allen Fällen eine Schwächung des Stromes zur Folge hat. Auch ist unter dem Artikel *Leiter der Elektricität* näher nachgewiesen worden, dafs auch die vollkommensten Leiter doch noch einigen Widerstand der

Digitized by Google

Elemente entgegensetzen. Es gewährt auch eine viel bessere Uebersicht aller Erscheinungen, wenn man das Leitungsvermögen als Leitungswiderstand in Rechnung bringt, der dann jedesmal im umgekehrten Verhältnisse dieses Leitungsvermögens selbst steht.

Dieser Leitungswiderstand, um in seinen Folgen richtig gewürdigt zu werden, darf nie blofs in einem einzelnen Gliede, sondern er mufs in der Gesammtheit aller Glieder aufgefafst werden. Man kann in dieser Hinsicht für die gewöhnliche Art, die Versuche anzustellen, den Leitungswiderstand in der Säule selbst von dem Leitungswiderstande in dem schliefsenden Bogen, auf welchen eigentlich die Wirkung der Säule zunächst hingerichtet ist, unterscheiden. Demnächst ist, was die verschiedene Natur der Glieder der Säule betrifft, der Widerstand in den festen und flüssigen Theilen besonders in Betracht zu ziehn und aufserdem noch der Widerstand, welcher bei dem Uebergange von festen zu flüssigen und von flüssigen zu festen Körpern statt findet, da diese kein Continuum, sondern nur ein Contiguum bilden. In der Lehre von dem Leitungsvermögen der Körper für Elektricität ist sowohl für die festen als flüssigen Leiter streng nachgewiesen worden, dafs der *Leitungswiderstand* derselben wächst mit ihrer Ausdehnung in die Länge oder im geraden Verhältnisse mit derselben, dafs er abnimmt mit Zunahme des Durchschnitts derselben oder im umgekehrten Verhältnisse mit demselben steht. In der Volta'schen Säule kommt dieser Durchschnitt auf eine doppelte Weise bei den flüssigen Leitern in Betracht, nämlich in ihrer Berührungsfläche mit den festen Leitern und dann in ihnen selbst. In Rücksicht auf den erstern Umstand hat man die Oberfläche der Metalle, die als die eigentlichen Elektromotoren in Betracht kommen, so weit sie mit dem flüssigen Leiter in Berührungsconflict kommt, die *erregende Oberfläche* genannt, und in Betreff der erregenden Oberfläche würde demnach der Leitungswiderstand abnehmend seyn mit der Vergröfserung dieser erregenden Oberfläche oder die Stärke des elektrischen Stromes unter sonst gleichen Umständen als wachsend mit der Gröfse der erregenden Oberfläche zu betrachten seyn. Diese Verhältnisse gelten für alle flüssige und feste Leiter auf gleiche Weise. Dann kommt aber noch die besondere von der Qualität und Temperatur der

Digitized by Google

Körper abhängige Leitungsfähigkeit in Betracht, die bei den ungeheuren gradativen Verschiedenheiten, die in dieser Hinsicht statt finden, einen noch viel gröfsern Einflufs äufsert, als die gewöhnlich bei Volta'schen Säulen vorkommenden Abänderungen in dem Durchschnitte und in der Längenausdehnung der Leiter, in welcher Hinsicht der Artikel *Leiter* zu vergleichen ist, wo auch der Einflufs der Temperatur auf das Leitungsvermögen näher angegeben wurde.

Noch kommt aber bei Berechnung des Leitungswiderstandes der Widerstand der Elektricität beim Uebergange von einem Gliede der Säule in das andere ganz vorzüglich in Betrachtung. Wir haben mehrere der hierauf bezüglichen Erscheinungen bereits unter dem Artikel *Galvanismus* mitgetheilt[1]. Viele Erscheinungen setzen es aufser allen Zweifel, dafs die Elektricität bei ihrem Uebergange von einem Körper in den andern, besonders aber beim Uebergange von starren in flüssige, einen bedeutenden Widerstand findet. Wenn die Continuität eines flüssigen durch Interpolation von starren Leitern, die an und für sich betrachtet ohne Vergleich viel bessere Leiter, als dieser selbst, sind, unterbrochen wird, so wird die Stärke des elektrischen Stroms auffallend geschwächt, und um so mehr, je häufiger diese Interpolation sich wiederholt. Es zeigen sich aber hierbei noch besondere Gesetze, welche für die Beurtheilung der Thätigkeitsgröfse der verschiedenen Volta'schen Apparate von Wichtigkeit sind. Diese Versuche haben nämlich bewiesen, dafs dieser Uebergang bei sonst gleichen Umständen um so schwieriger ist und also der elektrische Strom um so mehr dadurch geschwächt wird, je näher der starre metallische Leiter in der galvanischen Spannungsreihe dem negativen Ende steht und je weniger der starre Leiter mit der Flüssigkeit einen chemischen Conflict eingeht. Diese Verschiedenheit kann bis auf einen hohen Grad durch Vergröfserung der Berührungsfläche des negativen und chemisch nicht oder nur schwach erregbaren starren Leiters mit dem flüssigen verhältnifsmäfsig vergröfsert werden. Es kommt aber dabei noch ein höchst merkwürdiges Verhältnifs in Betracht, in welchem der Schlüssel zur richtigen Erklärung der

1 Vgl. §. 36. S. 667. §. 40. S. 678. Vorzüglich §. 62. S. 812. §. 90. S. 916. §. 102. S. 972.

Digitized by Google

Verstärkung des elektr. Stroms durch Vervielfältigung der Elemente in der Säule zu liegen scheint. Gerade so wie nach De la Roche's und Prevost's Versuchen die Wärme beim Uebergange aus einem durchsichtigen Medium (Luft) in ein anderes (Glas) und Fortgange durch dasselbe a) in dem Verhältnisse weniger Schwächung erleidet, in welchem ihre ursprüngliche Spannung gröfser ist, b) bei wiederholtem Uebergange und Durchgange die Schwächung immer geringer ist, gerade ebenso erleidet nach De la Rive's Versuchen[1] a) der elektr. Strom um so weniger Schwächung, je gröfser die ursprüngliche Spannung der Elektricität ist, die in Bewegung gesetzt wird, d. h. aus je mehr Elementen die Säule besteht, b) und um so weniger Schwächung, je öfter schon dieser Uebergang und Durchgang statt gefunden hat.

Es ist aber noch eine bemerkenswerthe Thatsache, dafs alle vorbenannte Umstände, von welchen der Leitungswiderstand in der galvanischen Kette überhaupt und insbesondere in der Volta'schen Säule abhängt, keineswegs unter allen Verhältnissen in gleichem Mafse zur Schwächung des Stroms wirken. So kann derselbe Zwischendraht, wenn er in die eine Kette eingebracht wird, die Wirksamkeit um ein Vielfaches schwächen, während er in eine andere Kette gebracht keine auch durch die empfindlichste Magnetnadel wahrnehmbare Schwächung hervorbringt. Es giebt jedoch einen ganz allgemeinen Gesichtspunct, unter welchem sich alle diese verschiedenen Fälle vereinigen lassen, einen Gesichtspunct, auf welchen zuerst Ohm hingewiesen hat und der sich auf das Durchgreifendste in der Erfahrung bestätigt. Dieser Gesichtspunct läfst sich in folgendem Gesetze aussprechen.

a) Der Leitungswiderstand irgend eines Theils der geschlossenen Kette überhaupt und also der geschlossenen Säule insbesondere verliert um so mehr an Einflufs zur Schwächung der Wirksamkeit, je kleiner er im Verhältnisse zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist oder je mehr er dagegen verschwindet.

b) Umgekehrt trägt Verminderung des Leitungswiderstandes irgend eines Theils der Kette und Säule oder, was dasselbe ist, Erhöhung seines Leitungsvermögens in einem be-

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 967 ff.

Digitized by Google

stimmten Verhältnisse um so mehr zur Verstärkung der Kraft der Kette überhaupt und der Säule insbesondere bei, je gröfser dieser Leitungswiderstand im Verhältnisse zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist.

Wenn man zugleich auf den eigentlichen positiven Factor in der Hervorbringung und Unterhaltung des elektrischen Stroms, nämlich die elektromotorische Kraft, Rücksicht nimmt, so ergiebt sich für die Stärke des Stroms unter allen Umständen und unter Berücksichtigung aller Bedingungen, die darauf influiren, der ganz allgemeine Ausdruck: die Kraft der geschlossenen Volta'schen Säule oder, was einerlei ist, die Stärke ihres elektrischen Stroms ist der gesammten elektromotorischen Kraft, die in ihr wirksam ist, direct, dem Leitungswiderstande aller ihrer Theile zusammengenommen aber umgekehrt proportional oder wird dargestellt durch den Quotienten der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand aller Theile und läfst sich also, wenn man K die Kraft des Stroms, A die in der Säule wirksame elektromotorische Gesammtkraft und L den Gesammtleitungswiderstand aller Theile nennt, durch die Formel $K = \frac{A}{L}$ ausdrücken, eine Formel, die mannigfaltige Entwickelungen zuläfst, wie in der Folge sich noch aus einzelnen Beispielen ergeben wird.

Was nun den relativen Werth der von uns unter der ersten Rubrik beschriebenen Volta'schen Apparate betrifft, so kommt in dieser Hinsicht nicht blofs die nach den hier eben aufgestellten Grundsätzen zu bestimmende Stärke ihrer Wirksamkeit in Betracht, sondern es müssen auch noch andere Verhältnisse der Bequemlichkeit, Wohlfeilheit u. s. w. mit berücksichtigt werden. Die gröfsten Wirkungen hat man unstreitig durch die Zellen- und Trogapparate hervorgebracht. Sie haben vor den gewöhnlichen Volta'schen Säulen den entschiedenen Vorzug, dafs der Leitungswiderstand in dem feuchten Leiter bei ihnen weit mehr vermindert und also durch Verminderung des L in der Formel $K = \frac{A}{L}$ der Werth von K bei gleichbleibendem A weit mehr erhöht werden kann. In allen gewöhnlichen Volta'schen Säulen tritt in der feuchten Pappe oder Tuchscheibe neben der leitenden Flüssigkeit stets

Digitized by Google

ein sehr isolirendes Element, nämlich die Leinwand, Baumwollen- oder Wollenfaser mit in den Kreis, und bei gleicher scheinbarer Berührungsfläche zwischen den Metallen und den feuchten Leitern, wie in den Zellen- oder Trogapparaten von gleicher Oberfläche, ist doch die wahre Berührungsfläche mit dem flüssigen Leiter viel kleiner. Dabei haben die verticalen Volta'schen Säulen den grofsen Nachtheil, dafs sich leicht eine Schicht Wasserstoffgas unter den Kupferplatten ansammeln kann, die, wenn sie auch nur eine Dicke von 0,01 Linie haben sollte, den Durchgang des Stroms gänzlich zu unterbrechen und, wenn sie auch nicht die ganze Oberfläche der Kupferplatte einnimmt, doch denselben auffallend zu schwächen vermag, daher das oft sprungweise statt findende Zunehmen der Wirkung einer Volta'schen Säule, wenn etwa das Gas, sobald es bis auf einen gewissen Grad sich angesammelt hat, seitwärts entweicht. Ein anderer Nachtheil, den die gewöhnliche Volta'sche Säule darbietet, ist die sich fixirende Trennung des Laugensalzes und der Säure bei Anwendung von Salzen, namentlich von Kochsalz, Salmiak u. dgl., wovon sich das erstere an der Oberfläche der Kupferplatte, die letztere am Zinke ansammeln und durch eine davon abhängige, in entgegengesetzter Richtung wirkende, elektromotorische Thätigkeit, indem das Laugensalz mit dem Kupfer eine positive, die Säure mit dem Zinke eine negative Spannung eingehn, den Strom schwächen. Diese Trennung kann man in den Trog- und Zellenapparaten durch Umrühren der Flüssigkeit stets wieder aufheben. Auch wird eine Fixirung der dem Strome so sehr hinderlichen Oxydschicht an der Oberfläche des Zinks weniger leicht in diesen letztern Apparaten eintreten, weil eine freiere Bewegung aller Theilchen in der reinen Flüssigkeit als in der durch die Papp- oder Tuchscheibe gleichsam fixirten Flüssigkeit statt findet. Auch stehn die gewöhnlichen Volta'schen Säulen in denjenigen Fällen den Trog- und Zellenapparaten nach, wo man sehr rasch einen kräftigen elektrischen Strom in Bewegung setzen will, z. B. zur Wiederbelebung in Fällen von Scheintod, indem man bei angemessenen Vorrichtungen einen mächtigen Trog- oder Zellenapparat viel schneller in Wirksamkeit setzen kann, als eine Volta'sche Säule von gleicher Wirksamkeit, deren Aufbauen immer etwas umständlich ist. Dagegen bieten die gewöhnlichen Säulen den grofsen

Digitized by Google

Vortheil dar, dafs man sie in jeder beliebigen Anzahl von Plattenpaaren mit der gröfsten Bequemlichkeit in Anwendung bringen, nach Belieben dieselben Metallplatten zu grofsplattigen Säulen von wenigen Abwechselungen oder zu kleinplattigen von vielen Abwechselungen verwenden kann. Die Reinigung der Platten bei einer gewöhnlichen Volta'schen Säule kann auch viel vollkommener und leichter geschehn, als bei jedem andern galvanischen Apparate.

Was das Verhältnifs der Trog- zu den Zellenapparaten betrifft, so finde ich nach meinen Versuchen bei gleicher Metalloberfläche und Zahl der Plattenpaare die Zellenapparate aus Trögen von Mahagoniholz, innerlich mit einem Kitte aus Harz und Wachs ausgegossen, wirksamer als die gewöhnlichen Trogapparate mit Trögen von Steingut, wie sie aus England kommen. Es scheint die Masse des Steinguts offenbar als ein Halbleiter zu wirken und um so mehr partielle Ausgleichung herbeizuführen und dem Polarstrome zu entziehen, je gröfser die Oberfläche ist, mit welcher die Wandung mit der Flüssigkeit in Berührung kommt. Auch Schweigger[1] bemerkt, dafs die Porzellantröge nicht das leisten, wes man sich von ihnen verspricht, besonders wenn man die saure Flüssigkeit in ihnen stehn lassen will. Aufserdem sind die Tröge zu breit und erfordern zu viel Flüssigkeit, die gar nicht in Wirksamkeit tritt, da eigentlich nur derjenige Theil der Flüssigkeit, der zwischen der Zinkplatte und der sie umgebenden Doppelplatte von Kupfer und zunächst an ihrer vom Zinke abgewandten Oberfläche befindlich ist, zur Leitung dient. Dagegen beruht ein grofser Vortheil der Trogapparate vor den Zellenapparaten darin, dafs die Kupferplatte in einer doppelt so grofsen Oberfläche, wie das Zink, angewandt werden kann und dafs die ganze metallische Oberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, während bei den Zellenapparaten die Oberflächen beider Metalle einander gleich seyn müssen, auch für die Ueberführung des Stroms in die Flüssigkeit die eine Oberfläche der Metallplatten gänzlich verloren geht.

Die *Kastenapparate* habe ich nicht so wirksam gefunden, als man nach Oersted's Angabe hätte erwarten sollen. Dafs hierbei, wenn man von den schmalen Seiten des Kastens ab-

1 Dessen Journal XX. 206.

Digitized by Google

sieht, eigentlich die gleiche Oberfläche des negativen und positiven Metalls mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, dafs ferner die ganze äufsere Oberfläche des Kupferkastens aufser Thätigkeit bleibt und dafs dadurch die Kosten des Apparats unnützer Weise vermehrt werden, dient nicht zur Empfehlung desselben. Auch nimmt die Aufstellung der Kasten viel Platz weg, ihre Isolirung erfordert überdiefs ein eigenes auch mit Kosten verbundenes Gestell. Daher sind diese Kastenapparate nie sehr in Gang gekommen. Ritter's Schüsselapparate schlossen die partielle Ausgleichung nicht genug aus. Erdmann's und Hauff's Apparate sind mehr in theoretischer als praktischer Hinsicht interessant. Dasselbe gilt auch von Kemp's Säulen mit flüssigen Metallen.

C. Verschiedenes Verhalten der verschiedenen Volta'schen Apparate in Rücksicht auf die drei Hauptclassen von Wirkungen, die von ihnen abhängen, und Erklärung dieser Verschiedenheit aus den unter II. aufgestellten Grnndsätzen.

AA. Wärmeerzeugung, Erglühen und Schmelzen von Metalldrähten durch die Volta'schen Apparate.

Wir haben diesen Gegenstand schon unter dem Artikel *Galvanismus*[1] erörtert und insbesondere die Gesetze für die Gröfse der Wärmeerzeugung durch die Volta'sche Säule aus den damals bekannten Versuchen abzuleiten, auch die Erklärung dieser Gesetze aus den Modificationen des elektrischen Stromes durch verschiedene Umstände zu geben versucht. Seitdem haben De la Rive[2] und Ohm[3] über diesen Gegenstand mehr Licht zu verbreiten gesucht. De la Rive glaubt durch eine Zusammenstellung mehrerer Erscheinungen den Beweis führen zu können, dafs es eigentlich der Widerstand,

1 S. Bd. IV. S. 689. §. 43. S. 921. §. 92.
2 Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre XVII. S. 170.
3 Ebendas. XVI. S. 1.

Digitized by Google

die Hemmung sey, welche der elektr. Strom in seiner Bewegung findet, an welche das Erglühen als an seine wesentliche Bedingung geknüpft sey. Dieser Widerstand vermindert ihm zufolge die Intensität oder Geschwindigkeit der Elektricität. Damit aber diese Verminderung überhaupt eine merkliche werde, müsse der Strom selbst eine gewisse Intensität haben, und daher dürfe der Widerstand in dem Leitungsdrahte nicht zu grofs seyn. Nur bei einer gewissen Länge werde daher das Glühen merklich werden und nicht eintreten, wenn diese Länge überschritten werde. Lasse man den Strom durch eine Reihe mit einander verbundener Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber von ungleicher Leitungsfähigkeit gehn, so werden die Drähte der schlechter leitenden Metalle (Platin, Eisen) glühend, die der besser leitenden (Silber, Kupfer) nicht. Sind mehrere Drähte auch von homogenen Metallen unter einander verbunden, so wird es einen Strom von einer gewissen Stärke geben, wo nur die Berührungsstellen, an denen der gröfste Widerstand ist, glühend werden. Beim Uebergange in die Flüssigkeiten finde ein besonders grofser Widerstand statt, hier müfste sich also besonders viel Wärme entwickeln, allein die grofse Wärme-Capacität der Flüssigkeit und die Entbindung von Gasarten mache einen grofsen Theil der Wärme latent; doch finde immer noch Temperaturerhöhung statt, und um so mehr, je weniger Gas entbunden werde, also namentlich eine gröfsere am positiven Pole. Bei gleicher Oberfläche (die Oberfläche aller Platten zusammengenommen) sey die Wärmeerzeugung um so gröfser, je kleiner die Anzahl der Platten sey. Eine Säule von zwei Paar Platten von einem Quadratfufs Oberfläche mache Metalldrähte glühend, während 18 Plattenpaare mit einer Oberfläche von 16 Quadratzoll für jede Platte, wo also die Gesammtoberfläche beinahe dieselbe sey, denselben Draht nicht einmal heifs mache. Den Hauptunterschied dieser grofsplattigen Säulen von wenigen Abwechselungen und kleinplattiger Säulen mit vielen Abwechselungen, welcher ihre verschiedene Wirksamkeit in der Wärmeerzeugung bestimme, findet De la Rive mit Rücksicht auf das erste von ihm aufgestellte Princip darin, dafs man bei der Volta'schen Säule auf zwei Momente Rücksicht zu nehmen habe, auf die *Intensität* und die *Geschwindigkeit* des elektr. Stromes. Die Intensität soll von der Ober-

Digitized by Google

fläche und der Zahl der Elemente abhängen, die Geschwindigkeit dagegen im umgekehrten Verhältnisse der Zahl der Elemente stehn. Nun sey zur Wärmeerzeugung eine gewisse Geschwindigkeit nöthig, welche einen verhältnifsmäfsigen Widerstand überwinden müsse. Bei einer Säule von vielen Plattenpaaren sey die Geschwindigkeit so gering, dafs eben darum auch der Widerstand nicht merklich werde. Sey daher die Geschwindigkeit des Stromes schon auf einen kleinern Grad herabgebracht, als sie es durch den Widerstand des Verbindungsdrahtes werden sollte, so werde in letzterem gar keine Wärmeentwickelung statt finden. Doch könne man durch Intensität den Mangel an Geschwindigkeit ausgleichen. So werde eine Säule von 60 Plattenpaaren einen Draht glühend machen, allein die Verbrennung werde lange nicht so lebhaft seyn, als wenn man nur 10 Platten derselben Säule nehme. Bei einem heterogenen unterbrochenen Leiter finde dagegen auch für eine Säule von vielen Plattenpaaren und ihre geringe Geschwindigkeit noch ein hinlänglicher Widerstand statt.

Es bedarf keiner ausführlichen Auseinandersetzung, wie wenig diese Erklärungen und Unterscheidungen mit den richtigen Begriffen von dem Wesen der Elektricität und des elektrischen Stromes in Einklang zu bringen sind und wie sehr ihnen selbst die entscheidendsten Erfahrungen entgegenstehn. Im Artikel *Galvanismus*[1] ist ein Versuch von van Marum und Pfaff angeführt worden, welchem zufolge gerade im Widerspruche mit De la Rive eine Säule ZK von 32 Abwechselungen von 5″ Seite eine viel gröfsere Wirkung im Verbrennen und Schmelzen als eine Säule von 8 Abwechselungen und 10″ Seite hervorbrachte. Der Hauptirrthum De la Rive's liegt aber offenbar darin, dafs er die Geschwindigkeit blofs als ein einfaches Verhältnifs zum Leitungswiderstande der Säule betrachtet, da sie doch offenbar ein zusammengesetztes Verhältnifs der elektomotorischen Gesammtkraft, welche einerlei mit der Intensität selbst ist, und des Leitungswiderstandes ist. Die Intensität kann nur dadurch ihren Einfluſs ausüben, dafs sie die Geschwindigkeit des Stromes bestimmt und in dieser Hinsicht ihrer Zunahme nach in gleichem Sinne wirkt, wie die Zunahme der Berührungsfläche zwischen den

[1] Bd. IV. S. 928.

Digitized by Google

flüssigen Leitern und den Metallplatten. Auch ist es nicht ganz richtig, wenn De la Rive die Wärmeerzeugung mit dem Widerstande, den der Strom in seinem Durchgange erleidet, in eine unzertrennliche directe Beziehung bringt, da ja mit der Zunahme des Widerstandes, z. B. bei der Anwendung einer gröfseren Länge des Verbindungsdrahtes, die Wärmeerzeugung abnimmt und sehr bald ganz unmerklich wird. Vielmehr wird hierbei alles durch die Intensität des Stromes selbst in einem gegebenen Raume, deren Mafs wir bereits oben erörtert haben, bestimmt.

Befriedigend scheint uns dagegen Ohm[1] die bereits erfahrungsmäfsig constatirten Verhältnisse, nach welchen das Erglühen der Metalldrähte von den verschiedenen Einrichtungen der Volta'schen Apparate und den verschiedenen Bestimmungen des Verbindungsdrahtes selbst abhängt, aus den oben aufgestellten Grundsätzen abgeleitet zu haben. Er bemerkt zuvörderst, dafs, da bei der Anwendung verschiedener metallischer Drähte von gleicher Dicke und Länge und derselben Intensität des elektr. Stromes der eine Draht ins Glühen versetzt wird, der andere nicht, der Glühungszustand selbst von zwei wesentlich von einander verschiedenen Factoren abhängen müsse, nämlich 1) von der im Innern des Körpers herrschenden Intensität des elektrischen Stromes, 2) von einem der besondern Natur des Körpers angehörenden Coefficienten, der als Eins mit dem Coefficienten des Leitungsvermögens für Elektricität anzusehn ist, nach allen darüber vorliegenden Versuchen, besonders denen von Children. Bezeichnet man diesen Glühungscoefficienten mit X und die Intensität des elektr. Stromes mit I, so ist $\frac{I}{X}$ der Glühungszustand des Körpers, welchem I und X angehören. Um die oben aufgestellte Formel für die Intensität des elektr. Stromes bequemer anzuwenden, müssen die verschiedenen Leitungswiderstände in den verschiedenen Säulen, so wie verschiedenen Theilen derselben, nach einem genauen Mafsstabe mit einander vergleichbar gemacht werden. Dieses erreicht man dadurch, dafs man den Widerstand, den irgend ein Theil der geschlossenen Säule,

1 A. a. O. und Nachtrag zur ersten Abhandlung in Kastner's Archiv XVII. 432.

Digitized by Google

z. B. eine gewisse darin befindliche Drahtlänge, äufsert, als Einheit zu Grunde legt. Aeufsert dann ein beliebiger anderer Theil der geschlossenen Säule z. B. einen dreifachen, vierfachen oder den halben Leitungswiderstand, als diese Drahtlänge, so wird man dann seinen Widerstand durch 3, 4 oder durch $\frac{1}{2}$ ausdrücken können und man wird wirklich diesen Theil mit jenem Drahte von der dreifachen, vierfachen oder halben Länge vertauschen können, ohne die Kraft des Stromes zu ändern. Ohm bedient sich defshalb für den auf eine solche Einheit bezogenen Leitungswiderstand der Theile einer geschlossenen Kette des Ausdrucks: *reducirte Länge*, und die doppelte oder dreifache reducirte Länge haben heifst nichts anders, als einen Leitungswiderstand äufsern, welcher der doppelte oder dreifache ist von dem als Einheit gesetzten Widerstande, den eine gewisse bestimmte Länge irgend eines Theils von bestimmter Materie, Gestalt und Dicke äufsert, sey es nun, dafs er sich in der Kette wirklich befinde, oder dafs er einen solchen äufsern würde, wenn man ihn in die Kette brächte. Durch Hülfe der Magnetnadel mit dem Multiplicator läfst sich nach der oben angegebenen Weise das Verhältnifs irgend eines Widerstandes zu jener Einheit bestimmen.

Heifst nun A die Summe aller Spannungen, L die Summe aller reducirten Längen der Theile der Säule mit Ausnahme des durch sie zu erglühenden Drahtes und $\mathcal{A}$ die reducirte Länge dieses Drahtes selbst, so ist $\frac{A}{L+\mathcal{A}}$ die Gröfse des elektr. Stromes der Säule nach Einführung des zu erglühenden Drahtes. Da die Intensität des elektr. Stromes im umgekehrten Verhältnisse der Gröfse des Querschnittes, durch welchen der Strom sich ergiefst, steht, so wird, wenn Ω die Gröfse irgend eines Querschnittes der Säule darstellt, die zu diesem Querschnitte gehörige Intensität des Stromes $= \frac{A}{(L+\mathcal{A})\Omega}$ seyn. Da ferner der Leitungswiderstand oder die reducirte Länge eines prismatischen Körpers gefunden wird, wenn man die wahre Länge dieses Körpers durch seinen Querschnitt und sein Leitungsvermögen dividirt, so ist, wenn l die wahre Länge, ω den Durchschnitt, x das Leitungsvermögen des zu erhitzenden Drahtes bezeichnet, $\mathcal{A} = \frac{l}{x\,\omega}$, und also die in

dem Querschnitte von der Gröfse Ω befindliche Intensität des Stromes $= \frac{A}{\left(L + \frac{l}{x\,\omega}\right)\Omega}$, folglich da $\Omega = \omega$ ist, so ist die Intensität des Stromes in dem Leitungsdrahte

$$I = \frac{A}{L\,\omega + \frac{l}{x}}.$$

Soll daher der Draht auf irgend einen bestimmten Grad des Erglühens gebracht werden, so mufs, wenn X den Glühungscoefficienten des Drahtes bezeichnet, $\frac{I}{X}$ einen gewissen diesem Glühungsgrade entsprechenden Werth annehmen, der durch G bezeichnet werden mag. Man erhält also zur Bestimmung dieses Glühungsgrades

$$G = \frac{A}{\left(L\,\omega + \frac{l}{x}\right)X},$$

wo die Werthe von x, l, ω so zu nehmen sind, wie sie dem auf den bestimmten Glühungsgrad erhobenen Drahte entsprechen, indem in dem Glühungszustande diese Werthe selbst bedeutend anders ausfallen, als in einer niedrigern Temperatur.

Sehr gut stimmen mit dieser Formel die Versuche, namentlich die von Children überein, wo Drähte von einem und demselben Metalle, aber von verschiedener Dicke, das einemal neben einander, das anderemal hinter einander in einer Länge den elektr. Strom von einer Stelle zur andern leiteten. Im erstern Falle erglühte der *dickere* Draht, im zweiten der *dünnere*. In beiden *hinter einander* in einer Länge befindlichen Drähten war die Gröfse des elektr. Stromes dieselbe, die Intensität des Stromes und also die Glühkraft mufste im dünnern Drahte gröfser seyn, und zwar in dem Verhältnisse, in welchem sein Querschnitt kleiner war, als der des dickern. Im letztern Falle ist die Intensität des Stromes in beiden Drähten dieselbe, insofern die wegen der durch den dickern Draht im Verhältnisse seines gröfsern Querschnitts durchgehenden gröfsern Menge gröfsere Intensität mit dem gröfsern Querschnitte im gleichen Verhältnisse wieder geringer ist, woraus eine Gleichheit der Intensität für beide Drähte folgt; da

Digitized by Google

aber der dünnere Draht durch die umgebende Luft verhältnifsmäfsig mehr Wärme verliert, so mufste die Glühkraft im dickern Drahte gröfser seyn.

Sind Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber von verschiedenen Metallen, in die Kette neben einander eingeführt, so mufs in ihnen die Glühkraft dieselbe seyn, aber nur unter der Voraussetzung, dafs die Gröfsen x und X in jedem Metalle einander proportional sind. Ist diese Proportionalität wirklich vorhanden, wie wahrscheinlich ist, so müfsten allenfallsige Unterschiede in ihrem Erglühen lediglich aus dem Unterschiede ihres Leitungsvermögens für die Wärme zu erklären seyn, was also ein gutes Mittel an die Hand gäbe, die Hypothese jener Proportionalität zu prüfen.

Durch weitere Ausführung seiner Formel entwickelt Ohm die Glühungswirkung verschiedener Volta'scher Apparate auf Drähte von demselben Metalle und demselben Querschnitte, wiefern nämlich dadurch verschiedene Längen glühend gemacht werden, und findet folgende Gesetze.

1) Bei Volta'schen Säulen, die aus ganz gleichen Elementen nur in verschiedener Anzahl gebaut sind, steht die Länge des Drahtes, welche sie zu einem und demselben Grade des Glühens bringen, zu der Anzahl der Elemente in einem constanten Verhältnisse.

2) Bei sonst ganz gleichen Volta'schen Apparaten verhalten sich, wenn nur die Flächen, in welchen die Metallplatten mit der Flüssigkeit in Berührung kommen, von einander abweichen, die Unterschiede der Drahtlängen $l' - l$, $l'' - l$, $l''' - l$ zu einander, wie die Werthe

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''} \ldots,$$

wo den Werthen f, f', f''.... die Drathlängen l, l', l'', l'''.... zugehören. Dieses giebt folgenden einfachen Ausdruck:

Die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch verschiedene Volta'sche Apparate, die in nichts als der Flächengröfse ihrer Metallplatten sich von einander unterscheiden, bis zu einem und demselben Grade des Erglühens gebracht werden, verhalten sich zu einander, wie die Unterschiede, um welche die Einheit das Verhältnifs übersteigt, welches aus den Flächengröfsen der zu den entsprechenden Apparaten gehörigen Metallplatten gebildet wird.

Digitized by Google

Verhalten sich z. B. die Flächengröfsen wie 1, 2, 4, 8 u. s. w., dann werden die Unterschiede

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''} \ldots$$

der Reihe nach $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$. Man hat demnach in diesem Falle $1' - 1 : 1'' - 1 : 1''' - 1 \ldots = \frac{1}{2} : \frac{3}{4} : \frac{7}{8} \ldots$ oder auch $1' - 1 : 1'' - 1' : 1''' - 1'' \ldots = \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8} \ldots$ d. h. die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch Volta'sche Apparate von der angezeigten Art auf einerlei Grad des Glühens gebracht werden können, werden von einem Apparate zum andern stets um die Hälfte kleiner. Es werden demnach der Glühkraft eines Volta'schen Apparats in Beziehung auf Länge des Drahtes durch Vergröfserung seiner Flächen bald feste Grenzen gesetzt werden. Eine Bestätigung dieser Gesetze durch genaue und oft genug abgeänderte Versuche fehlt indefs noch.

BB. Chemische Wirkungen der Volta'schen Apparate.

Unter dem Artikel *Galvanismus* sind die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes galvanischer Ketten nach ihren allgemeinsten Gesetzen und einige derselben bereits ausführlich abgehandelt worden. Doch haben wir einige der interessantesten gerade diesem Artikel vorbehalten müssen, da sie vorzüglich durch Hülfe derjenigen Volta'schen Apparate dargestellt worden sind, auf welche wir an jenem Orte noch nicht Rücksicht genommen haben.

Mit Ausnahme des *Titanoxyds*, *Ceriumoxyds*, *Tantaloxyds*, der *Yttererde*, der *Kieselerde* und *Thonerde* giebt es keinen auch sonst auf chemische Weise zerlegbaren und sich also als zusammengesetzt beweisenden Körper, den es nicht gelungen wäre, durch Hülfe Volta'scher Apparate zu zersetzen und seine Bestandtheile wenigstens vorübergehend isolirt darzustellen. Eben durch die Zerlegung derjenigen Körper, welche man zwar einer strengen Analogie zufolge mit höchster Wahrscheinlichkeit als zusammengesetzt betrachten konnte, die aber früher allen chemischen Zerlegungsversuchen widerstanden hatten, nämlich der Alkalien und alkalischen Erden, erhielt der Volta'sche Apparat gleichsam eine neue Verherrlichung. Diese grofse Entdeckung verdanken wir Sir Humphry

Digitized by Google

Davy, der die Reduction der Alkalien zu Metallen zuerst im Jahre 1807 zu Stande gebracht. Zur richtigen Beurtheilung dieses Erfolgs müssen wir einige allgemeine Bemerkungen über die Wirkungsart des elektr. Stromes in den chemischen Zersetzungen und über den Einfluſs der besondern Beschaffenheit des zu zersetzenden Körpers auf diesen Strom vorausschicken.

Jede Zersetzung durch den elektr. Strom erfolgt zunächst stets in zwei in einem elektrischen Gegensatze gegen einander stehende Bestandtheile und erreicht ihre Grenze nur, wenn die Grundstoffe, welche in dem gröſsten Gegensatze stehn und zu den einfachsten Zusammensetzungen, den binären, vereinigt waren, von einander getrennt und nach den entsprechenden Polen der Säule gebracht worden sind. Daſs die Zersetzung wirklich zu Stande komme, hängt davon ab, daſs der elektrische Strom eine hinlängliche Stärke habe, um die Verwandtschaft, welche die beiden zu trennenden Bestandtheile zusammenhält, zu überwinden. Ist der elektr. Strom an und für sich nicht stark genug, so kann doch die Zersetzung bewirkt werden, wenn eine im gleichen Sinne wirkende Verwandtschaft mithilft, in welchem Falle wenigstens einer der Bestandtheile eine neue Verbindung eingeht. Das Quantum der Zersetzung hängt gleichfalls von der Stärke des elektr. Stromes ab. Unter dieser Stärke ist zunächst die Intensität, mit welcher der elektr. Strom durch den zu zersetzenden Körper hindurchgeht, zu verstehen, und *jedem Grade von Verwandtschaft, womit zwei Bestandtheile zusammenhalten, muſs eine bestimmte Intensität des elektr. Stromes* entsprechen, um die Zersetzung zu bewirken. Diese Intensität kann nach Beschaffenheit des zu zersetzenden Körpers bald durch Verminderung des Leitungswiderstandes, bald aber auch nur durch Vermehrung der Zahl der Elemente erreicht werden und hängt lediglich von dem besondern Leitungsvermögen des zu zersetzenden Körpers ab. Dieses Leitungsvermögen ist in den verschiednen Flüssigkeiten höchst verschieden, da z. B., das Leitungsvermögen des reinen destillirten Wassers als Einheit zum Grunde gelegt, dasselbe schon 30mal übertreffen wird, wenn auch nur $\frac{1}{600}$ Salmiak in dem Wasser aufgelöst wird [1]. Wenn

1 Vergl. Pfaff in Schweigger's Jahrb. LV. 218. und Fechner in

man Flüssigkeiten zur Schliefsung der Kette anwendet, welche ein sehr geringes Leitungsvermögen haben, so wird man durch Vergröfserung der Platten sehr wenig ausrichten können. Wenn nämlich in der oben erklärten Gleichung $K = \frac{A}{L}$ an die Stelle von L seine Werthe a und b gesetzt werden, wo a den Leitungswiderstand in der Säule, b den Leitungswiderstand der zu zersetzenden Flüssigkeit darstellt, so sieht man leicht ein, dafs, wenn a auch noch so sehr verkleinert und selbst auf 0 herabgebracht wird, sey es durch Vergröfserung der Platten, oder durch Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit, dieses doch keinen merklichen Einfluſs auf die Vergröfserung des Quotienten $\frac{A}{a + b}$, d. h. auf die Verstärkung des elektr. Stromes haben wird, sobald a ein verschwindendes Verhältnifs gegen b hat. Hier wird man also blofs durch Vergröfserung des Werthes von A, d. h. durch Anwendung einer Säule von vielen Plattenpaaren auch von kleiner Oberfläche, allein etwas ausrichten und eine Zersezzung bewerkstelligen können, die bei einer geringen Anzahl von Platten auch durch jede Vergröfserung ihrer Oberfläche nicht erreicht werden kann. Ganz anders aber wird sich die Sache verhalten, wenn der Werth von a gegen b nicht verschwindend ist, ihre Werthe einander gleich sind oder gar der Werth von a den von b übertrifft, was in vielen Fällen statt finden kann, wo die zu zersetzende Flüssigkeit ein grofses Leitungsvermögen hat. Hier wird man allerdings den Strom auffallend verstärken können, wenn man in dem galvanischen Apparate eine Flüssigkeit von besserem Leitungsvermögen anwendet oder die Oberfläche der Metallplatten vergröfsert. Hieraus ergeben sich folgende allgemeine Gesetze:

a) Bei sehr geringem Leitungsvermögen des zu zersetzenden Körpers, der den Kreis der Volta'schen Säule schliefst, wird man nur durch Säulen von vielen Elementen etwas ausrichten, und es ist eine um so gröfsere Zahl derselben nöthig, je gröfser die Verwandtschaft ist, mit wel-

---

der Uebers. von Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. III. Band. S. 357.

Digitized by Google

cher die Bestandtheile des zu zersetzenden Körpers zusammenhängen.

b) Bei sehr geringem Leitungsvermögen des den Kreis schliefsenden zu zersetzenden Körpers wird man durch blofse Verminderung des Leitungswiderstandes in der Säule bei gleichbleibendem Werthe von A nichts ausrichten.

c) Dagegen wird man bei höherem Leitungsvermögen des den Kreis schliefsenden zu zersetzenden Körpers auch durch Säulen von wenigen Elementen etwas auszurichten vermögen, wenn man den Leitungswiderstand in denselben durch Vergröfserung der erregenden Oberfläche oder durch Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit sehr merklich vermindert.

d) Auch wird man in allen denjenigen Fällen, wo der Leitungswiderstand von b viel geringer ist, als der von a, durch Erhöhung dieses Leitungswiderstandes in b, indem man den Durchschnitt desselben verkleinert, *durch Erhöhung der Intensität des elektr. Stromes* verhältnifsmäfsig mehr für die Zersetzung gewinnen, als man durch Vergröfserung des Leitungswiderstandes verliert.

Eine Menge besonderer Erscheinungen finden dadurch ihre Deutung und verlieren ihre scheinbare Räthselhaftigkeit. Dahin gehören namentlich einige Erfahrungen von Gay Lussac und Thénard[1], die als Resultat ihrer Beobachtungen anführen, dafs, wenn es darauf ankommt, Elemente zu trennen, die blofs einer beträchtlichen Kraft weichen, man Säulen von vielen Lagen anwenden müsse, und die ferner beobachteten, dafs in einer mit reinem Wasser gefüllten Entbindungsröhre selbst ihr aufserordentlich starker Zellenapparat von 600 Plattenpaaren keine merkliche Gasentwickelung bewirkte, indem das reine Wasser für die immer verhältnifsmäfsig schwache Spannung dieses mächtigen Apparats doch als eine Art von Isolator wirkte. Die *Alkalien* erfordern eben, weil sie, um reducirt zu werden, nicht in Auflösung, sondern nur in einem schwach befeuchteten Zustande angewandt werden können, in welchem sie nur sehr unvollkommene Leiter sind, sehr mächtige Apparate von einer gröfsern Anzahl von Plattenpaaren, worin

1 S. Bertholler's Bericht in Schweigger's Journ. I. 409. u. die Anm. d. H.

Digitized by Google

die von so vielen Physikern angestellten Versuche vollkommen mit einander übereinstimmen. H. Davy[1] leitete erst durch das Kali, während es durch die mit Sauerstoffgas angeblasene Weingeistlampe vermittelst des Löthrohrs in einem Platinlöffelchen in heftiger Rothglühhitze und im Zustande vollkommener Flüssigkeit erhalten wurde, den elektrischen Strom eines stark geladenen Zellenapparats von 100 Plattenpaaren, jedes 6″ Seite haltend, deren positiven Pol er mit dem Platinlöffelchen, den negativen durch einen Platindraht mit dem Kali in Verbindung gebracht hatte. Unter diesen Umständen war das Kali in hohem Grade leitend, und so lange die Verbindung dauerte, sah er an dem negativen Drahte ein sehr lebhaftes Licht und im Berührungspuncte eine *Flammensäule*, welche von einem sich hier bildenden verbrennlichen Körper herzurühren schien. Bei der umgekehrten Vertheilung der Polardrähte sah man zwar am positiven Pole ein lebhaftes und bleibendes Licht, aber nichts, was einem Verbrennen geglichen hätte, dagegen sah man durch das Kali Gasbläschen aufsteigen, die sich in der Atmosphäre eins nach dem andern entzündeten. Davy machte den Schluſs, daſs, da das Kali vollkommen trocken war (doch fehlte chemisch gebundenes Wasser nicht), der am negativen Pole auftretende verbrennliche Körper durch eine Reduction des Kali selbst hervorgebracht seyn müsse, und so ging er, um diesen Körper zu erhalten, zu den eigentlich entscheidenden Versuchen über, indem er nur schwach befeuchtetes Kali anwandte und einen noch viel energischern Apparat, nämlich den obigen Zellenapparat in Vereinigung mit 150 vierzölligen Plattenpaaren gebrauchte. Erman und Simon[2], die ersten deutschen Physiker, welche Davy's Versuche wiederholten, bewirkten die Reduction mit einer Säule von 60 Plattenpaaren Zink und Kupfer von einem Durchmesser von 8″, deren Pappscheiben mit Salmiakauflösung getränkt waren, dagegen gelang Erman mit einer Säule von einigen hundert Plattenpaaren von blank gescheuertem Zink und Silber, deren Durchmesser kaum einen Zoll betrug, die Reduction nicht[3]

1 G. XXXI. 117.
2 G. XXVIII. 121.
3 Ebendas. 129.

Digitized by Google

Die Wiener Physiker Jacquin, Schreibers, Tihawsky und Bremser[1] brachten die Reduction durch eine Säule von 1160 Plattenpaaren Zink und Kupfer, welche zusammen 54 Quadratfuſs und 23 Quadratzoll hielten, zu Stande. Doch erhielt Jacquin schon durch eine Säule von 300 Plattenpaaren von 3″ Durchmesser die Reduction des Kali's und Natrons. Berzelius gelang dieselbe dagegen nicht mit einer Säule von 26 Plattenpaaren mit einer Oberfläche von 100 Quadratzollen jedes Plattenpaares[2].

Auch Ritter[3] bestätigte durch seine Versuche den entschiedenen Vorzug der Apparate von vielen Abwechselungen mit verhältniſsmäſsig kleiner Oberfläche vor denen mit wenigen Abwechselungen und groſser Oberfläche. Er wandte nun Säulen von 1¾ Quadratzoll Oberfläche an und fand eine solche von 300 Abwechselungen wirksamer, als einen Schüsselapparat von 36 — 40 Quadratzollen und 50 Abwechselungen mit 30fach verdünnter Schwefelsäure in Thätigkeit gesetzt. Gay Lussac und Thénard wollen die Reduction der Alkalien schon durch eine Säule von 80 Plattenpaaren, die nur eine Oberfläche von 6 Quadratzollen hatten, zu Stande gebracht haben. Mit seinem oben beschriebenen Trogapparate von 20 Riesenplattenpaaren vermochte Children die Alkalien nicht zu reduciren, während er den vollkommensten Erfolg mit einem kleinplattigen Trogapparate von 200 Abwechselungen von nur 2 Quadratzoll Oberfläche jeder Platte und bei Anfüllung der kleinen Tröge von Pfeifenthon mit verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure hatte.

Wendet man eine hinlänglich starke Säule an, so hat man noch Folgendes zu beachten. Man legt ein dünnes Stück von schwach befeuchtetem Aetzkali auf eine Silber- oder Platinscheibe, die mit dem positiven Pole des Volta'schen Apparates verbunden ist, und berührt die Oberfläche des Alkalis mit dem Silber- oder Platindrahte des negativen Poles. Das Alkali schmelzt bald am Berührungspuncte, in kurzem erscheinen um den Draht herum kleine metallisch glänzende Kügel-

1 G. XXVIII. 133.

2 G. XXXVI. 247.

3 Denkschriften der Kön. Acad. der Wissenschaften zu München für das Jahr 1808. S. 207.

Digitized by Google

chen, die nach und nach an Gröfse wachsen, bis sich endlich eine Rinde von Alkali auf ihrer Oberfläche zu bilden anfängt. In diesem Augenblicke mufs man sie mit einer Messerspitze wegnehmen und sogleich unter gereinigtes Steinöl tauchen. Zuweilen, wenn keine Kügelchen erscheinen, findet man sie doch, wenn die Schliefsung einige Zeit hindurch gedauert hat, an der untern Fläche des aufgehobenen Alkali's eingelegt. Ist die Wirkung des Volta'schen Apparats stark, so entzünden sich zuweilen die Kügelchen und detoniren sogar im Augenblicke der Entstehung. Um die oxydirende Einwirkung der Luft während der Reduction zu verhüten, hat man vorgeschlagen, dieselbe sogleich unter Steinöl vorzunehmen. Das schwach befeuchtete Kali wird zu diesem Zwecke zwischen zwei Platinplatten in ein schickliches Gefäfs gelegt, das man sogleich, nachdem es in die Kette gebracht ist, mit Steinöl füllt.

Ein viel schwächerer elektrischer Strom reicht schon zur Reduction hin, wenn man die Verwandtschaft des Quecksilbers, das sich mit dem Kalium oder Natrium zum Amalgam verbindet, zu Hülfe nimmt. Ritter fand[1], dafs breite Säulen von wenigen Plattenpaaren zur Erzeugung dieses Amalgams günstiger sind, als vielplattige schmale Säulen, und fand selbst eine kleinplattige Säule von 400 Plattenpaaren nicht so wirksam, als 40 Abwechselungen seines Schüsselapparats. Der Grund davon liegt darin, dafs hier durch die Berührung des Kali's mit dem Quecksilber eine viel gröfsere leitende Oberfläche dem Strome dargeboten ist, auch nicht nothwendig festes, nur wenig befeuchtetes Kali angewandt werden mufs, sondern auch eine concentrirte Lauge, die ein vortrefflicher Leiter der Elektricität ist, das Amalgam liefert. Ja im letztern Falle ist nach Herschel's[2] und meinen Versuchen[3] selbst eine Säule von 10 Plattenpaaren von nur einem halben Zoll Durchmesser hinreichend, um die Reduction des Kali's und Natrons zu bewirken. Man kann den Versuch entweder so anstellen, dafs man in ein Stück befeuchteten Kali's eine Höhlung macht, die möglichst tief und mit Quecksilber angefüllt ist, das Stück auf eine Platinplatte legt und

1 A. a. O.

2 Schweigger's Journ. XLIV. 196 fg.

3 Ebendas. XLVIII. 200. 240.

Digitized by Google

den positiven Pol des Volta'schen Apparats mit der Platte, den negativen Pol durch einen Platindraht mit dem Quecksilber in Berührung setzt, wo bei hinlänglicher Wirksamkeit der Säule so viel Kalium abgeschieden wird, dafs das Amalgama fest wird, oder man kann auch nach Berzelius Angabe[1] das Quecksilber, das sich in einer Porzellanschale befindet, mit einer sehr concentrirten Lauge von kaustischem Kali übergiefsen, worin sich noch einige Stücke ungelösten Kali's befinden. In das Quecksilber bringt man dann von dem negativen Pole aus einen Eisen- oder Platindraht und ebenso von dem positiven Pole aus einen Platindraht in die Kalilauge. Das Quecksilber wird allmälig schwerflüssig und man entdeckt kleine sich bildende Metallkrystalle, wie es scheint von kubischer Gestalt, welche eine feste chemische Verbindung von Kalium und Quecksilber sind. Ritter[2] fand das mit Kalium gesättigte Quecksilber, besonders wenn er es aus dem Kreise herausnahm, in deutlichen Würfeln krystallisirend, die er von einer halben Linie und auch noch gröfser sah. Die Menge des Kaliums, die selbst in der festen Verbindung mit dem Quecksilber zusammengetreten ist, beträgt nicht mehr als 2 Procent. Das gebildete Amalgam, um es aufzubewahren, mufs man unter Steinöl bringen, oder, wie Davy gethan hat, das Quecksilber mit dem Alkali sogleich unter Steinöl galvanisiren, da sonst das Kalium sich bald wieder oxydiren würde. Zur Darstellung dieses Amalgams ist es eben nicht erforderlich, Aetzkali zu nehmen, sondern selbst aus Salzen mit Kaligrundlage, dem kohlensauren, essigsauren, schwefelsauren Kali und dem Chlorkalium läfst sich dasselbe auf die angezeigte Weise darstellen.

Ebenso wie Kali verhält sich das Natron und wird aus seinen Salzen, namentlich dem schwefelsauren Natron und dem Chlornatrium, durch Hülfe des Quecksilbers leicht reducirt.

Das Lithium wurde durch Davy aus dem Lithonhydrate dargestellt und verhält sich in seinen Eigenschaften sehr ähnlich dem Natrium[3].

Den Baryt, Strontian und Kalk unterwarf Davy[4] im

1 Lehrbuch der Chemie. Neueste Auflage. 7. Heft. S. 283.
2 A. a. O. S. 201.
3 Berzelius Lehrbuch 7. Heft. S. 322.
4 G. XXXII. 369.

Digitized by Google

schwach befeuchteten Zustande unter Steinöl mittelst Eisendrähten der Einwirkung desselben mächtigen Apparats, durch den er das Kali reducirt hatte. Es entwickelte sich dabei viel verbrennliches Gas. Die Erden nahmen an der Stelle, wo sie mit dem negativen Pole in Berührung standen, eine dunklere Farbe an und zeigten einige metallisch glänzende Puncte, die an der Luft allmälig weifs wurden; als Davy sie mit der Loupe betrachtete, sah er, dafs sich ein grünlicher Staub von ihnen trennte, während kleine Gasbläschen sich entwickelten. Davy hielt sie für Legirung dieses Metalls mit Eisen.

Gay Lussac und Thénard[1] sahen bei Anwendung ihres mächtigen Trogapparats über die Oberfläche des geschmolzenen Baryts Funken gegen den negativen Draht hinspringen und mit einem sehr scharfen und sehr gefährlich athembaren Rauche verschwinden. Der Strontian und Kalk gaben ihnen nur zweifelhafte Zeichen von Zersetzung.

Viel leichter gelingt die Reduction dieser alkalischen Erden durch Hülfe des Quecksilbers, mit welchem ihre metallischen Radicale sich zu Amalgamen verbinden. Gay Lussac und Thénard erhielten vermittelst einer Säule von 100 Plattenpaaren von 3″ Seite das Baryumamalgam sehr leicht. Man legt das Barythydrat, das mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt worden ist, auf das Quecksilber. In diese Masse führt man einen Platindraht vom positiven Pole ein und verbindet das Quecksilber durch einen Eisen- oder Platindraht mit dem negativen Pole. Aus dem Amalgame kann man dann durch Destillation des Quecksilbers aus einer vorher mit Wasserstoffgas gefüllten Retorte das Baryum erhalten. Herschel[2] erhielt aus einer Auflösung von salzsaurem Baryt, womit eine kleine Quecksilberkugel übergossen wurde, in gröfster Schnelligkeit mit einer Säule von 8 Paaren des Baryumamalgam. Die kleine Quecksilberkugel, mit dem negativen Polardrahte verbunden, bildete schöne baumartige Formen und verdickte sich zu einem festen, ganz krystallinischen Amalgam.

Man erhält nach Davy's Versuchen die Amalgame von Baryum, Strontium und Calcium gleichfalls, wenn man durch Mengungen aus 2 Theilen der befeuchteten Hydrate dieser

1 Schweigger's Journ. II. 420.
2 Schweigger's Journ. XLIV. 201.

Digitized by Google

alkalischen Erden und einem Theile rothen Quecksilberoxyds den elektrischen Strom hindurchgehn läfst. Als Davy[1] diese Mengungen mit einem ganz neuen Zellenapparate von 500 Doppelplatten von 6″ Seite galvanisirte, entstand jedesmal eine solche Hitze beim Schliefsen, dafs das Quecksilber und das reducirte Metall verbrannten. Vermehrte er die Oberfläche der Leiter, so war die entzündende Kraft geringer und das Amalgam fuhr dennoch beständig fort sich zu bilden, doch erhielt er es nur in dünnen Häutchen, nie in Kügelchen. Mit der Talkerde gelang der Versuch nur unvollkommen, als er aber befeuchtete schwefelsaure Talkerde anwendete, bekam er das Amalgam schnell. Am leichtesten erhielt Davy die Amalgame, als er befeuchtete Gemenge von Baryt, Strontian, Kalk, Magnesia mit ¼ Quecksilberoxyd auf ein Platinblech brachte, in ihre Oberfläche eine Vertiefung machte, die grofs genug war, einen Quecksilbertropfen von 50 bis 60 Gran aufzunehmen, das Ganze mit ein wenig Steinöl übergofs und dann durch schickliche Leiter so in den Kreis seines Trogapparats von 500 Plattenpaaren brachte, dafs das Platinblech positiv, das Quecksilber negativ elektrisirt wurde.

Das Ammoniak bietet im Kreise der Volta'schen Säule merkwürdige Erscheinungen dar, die hier noch kurz erwähnt zu werden verdienen. Setzt man flüssiges Ammoniak der Wirkung des elektr. Stromes aus, so wird dieses in seine näheren Bestandtheile zersetzt, am positiven Pole erscheint Stickgas, am negativen Pole Wasserstoffgas. Bei einem gewissen Grade der Concentration der Flüssigkeit erscheint am positiven Pole neben dem Stickgas auch Sauerstoffgas. Ganz eigenthümliche Erscheinungen finden aber statt, wenn man Ammoniakflüssigkeit oder auch eine Auflösung eines Ammoniaksalzes, namentlich des Salmiaks, in Berührung mit Quecksilber, dem elektr. Strome einer Volta'schen Säule unterwirft, indem man den negativen Eisen- oder Platindraht in das Quecksilber, den positiven Platindraht in die Flüssigkeit eintaucht. Es bildet sich hierbei ein ganz eigenthümliches Amalgam, das sogenannte Ammonium-Amalgam. Seebeck scheint der erste gewesen zu seyn, der die Bildung dieses Amalgams beobachtete, die erste genauere Untersuchung wurde aber von Ber-

1 G. XXXII. 374.

zelius und Pontin, und, wie es scheint, ohne von Seebeck's Beobachtungen etwas zu wissen, vorgenommen[1], demnächst von H. Davy[2] und den französischen Chemikern Gay Lussac und Thénard[3] zum Gegenstande einer sorgfältigen Untersuchung gemacht. Um diesen merkwürdigen Körper zu erhalten, legt man nach Berzelius Angabe[4] auf den Boden einer gläsernen Schale ein wenig Quecksilber und führt den negativen Draht von Eisen oder Platin in dasselbe, gießt darauf eine concentrirte Ammoniakflüssigkeit und taucht in dieselbe den positiven Polardraht so ein, daſs er nur eine Linie vom Quecksilber absteht. Im ersten Augenblicke giebt bloſs der positive Drath Gas, aber bald fangen auch Gasblasen vom Quecksilber aus an sich zu entwickeln, dieses schwillt auf, wird allmälig dick wie Butter, erhält eine silberweiſse Farbe und wird zu einem 5- bis 6mal gröſsern Volumen ausgedehnt. Dieses dann nicht mehr flüssige Amalgam verwandelt sich beim Herausnehmen aus dem Kreise unter Entwickelung von Wasserstoffgas sehr bald in Ammoniak und Quecksilber, welches letztere sein ursprüngliches Volumen wieder annimmt. In gröſserer Menge und in starrer Gestalt läſst sich, wie Davy zuerst angegeben, dieses Amalgam so darstellen, daſs man in ein Stück Salmiak eine runde Vertiefung schneidet, diese mit Wasser befeuchtet, eine Kugel Quecksilber hineinbringt und diese vermittelst eines Platindrahtes mit dem negativen Pole der elektr. Säule in Verbindung setzt, während man vom positiven Pole einen Platindraht in den feuchten Salmiak hineinführt und diesen dem Quecksilber so nahe wie möglich bringt. Das Quecksilber schwillt dann auſserordentlich an und wird endlich starr. Am schönsten erhält man dieses Amalgam, wenn man in jene im Salmiak gemachte Grube statt Quecksilbers einen Tropfen Kalium-Amalgam bringt und fast ebenso, wie angegeben worden ist, verfährt. Das Ammonium-Amalgam wächst dann bald hoch über die Grube hinaus und bildet selbst eine Art von Verästelung, gleich einem kleinen Bleibaume. Ueber

1 Recherches physico-chemiques par Gay Lussac et Thénard. p. 52.

2 G. XXXIII. 241.

3 A. a. O.

4 Dessen Lehrbuch. 4. Ausg. 1. S. 326.

Digitized by Google

die Zusammensetzung dieses Ammonium-Amalgams sind die Ansichten der Chemiker noch getheilt, mir ist es jedoch am wahrscheinlichsten, dafs der für sich noch nicht isolirt dargestellte Stoff, den man mit dem Namen Ammonium bezeichnet und der eben mit dem Quecksilber jenes Amalgam bildet, aus einem Antheile eines ganz eigenthümlichen Metalls, welches die Grundlage des Stickstoffs ausmacht, der selbst sein erstes Oxyd ist und welchem Berzelius den Namen Nitricum gegeben hat, und aus drei *Antheilen* Wasserstoff besteht, so dafs in diesem Processe der Stickstoff ebenso wie das Kali reducirt wird und das Metall desselben mit den drei Antheilen Wasserstoff, welche mit einem Antheile Stickstoff das Ammoniak bilden, zum *Ammonium* zusammentritt. Das Merkwürdigste hierbei ist, dafs, ungeachtet das Quecksilber durch seine Verbindung mit diesem noch problematischen Ammonium eine so aufserordentliche Veränderung erleidet, indem es sogar specifisch leichter als das Wasser wird, das Gewicht des Ammoniums nach Davy doch nur $\frac{1}{1200}$ der Verbindung ausmacht.

Die übrigen Zersetzungen betreffend, welche durch die Volta'sche Säule bewirkt werden, ist alles Bemerkenswerthe bereits unter dem Artikel *Galvanismus*, insbesondere in §. 35., §. 88. und §. 89., abgehandelt worden.

CC. Physiologiche Wirkungen.

Wir haben zwar bereits im Artikel *Galvanismus* das Räthselhafte, dafs sich bei gleichbleibender Anzahl der Plattenpaare die Kraft der hydroelektrischen Säule in dem Erglühen der Metalldrähte und in den Verbrennungserscheinungen derselben, auch in einigen chemischen Erscheinungen mit der Vergröfserung der Oberfläche der Metallplatten so aufserordentlich verstärkt zeigt, während sich diese Verstärkung in den physiologischen Wirkungen, namentlich in den Affectionen des Gemeingefühls, fast gar nicht kund thut, dafs über eine gewisse an sich geringe Breite der Platten hinausgegangen die Erschütterungen eben nicht mehr zunehmen, während diese mit der Zunahme der Zahl der Plattenpaare fast ins Unbestimmte wachsen, dafs ferner ein einfaches Plattenpaar von grofser Oberfläche in Rücksicht auf Erglühn von Metalldrähten sich aufserordentlich wirksam zeigen kann, während die Wirkung auf den menschlichen Körper durch Erschütterung fast

Digitized by Google

unmerklich ist, durch das so überwiegende Leitungsvermögen der Metalldrähte, die ins Glühen versetzt werden, und mancher salzigen und sauren Flüssigkeiten, verglichen mit dem so geringen Leitungsvermögen des menschlichen Körpers, besonders mit Rücksicht auf die grofse Strecke, die der elektr. Strom in demselben zu durchlaufen hat, aufzuklären gesucht. Die Sache wird aber noch deutlicher durch die Anwendung der unter B entwickelten Grundsätze. In allen den Fällen nämlich, wo es darauf ankommt, den elektrischen Strom auf schlecht leitende Körper einwirken zu lassen, wird man die Zahl der Plattenpaare möglichst zu vervielfachen haben, um durch die Zunahme der Summe der elektromotorischen Kräfte den gröfsern Leitungswiderstand zu compensiren, dagegen seinen Zweck nicht erreichen durch Vergröfserung der Oberfläche der Plattenpaare, da man dadurch nichts anderes bezwekken würde, als den Leitungswiderstand in der Flüssigkeit, welche zum feuchten Leiter dient, zu vermindern oder selbst zum Verschwinden zu bringen, was um so weniger merklichen Vortheil gewähren kann, je mehr dieser Widerstand schon vorher gegen den Widerstand in den übrigen Theilen des Kreises verschwand.

Gesetzt der Widerstand der metallischen Theile, also namentlich des zum Erglühen zu bringenden Metalldrahtes, verhalte sich zum Leitungswiderstande in der Flüssigkeit wie 1:100, so wird, wenn wir die elektromotorische Kraft $= 1$ setzen, die Kraft des elektr. Stromes $= \frac{A}{L}$ proportional seyn der Zahl $\frac{1}{100+1}$, nämlich der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand. Verdoppelt man das Leitungsvermögen in der Flüssigkeit, entweder durch Verdoppelung des Querschnittes mittelst Vergröfserung der Oberfläche, oder durch Hinzufügung von Säuren oder Salzen, so wird dadurch der Widerstand von 100 auf 50 reducirt, während der Widerstand des metallischen Theils $= 1$ dasselbe bleibt, mithin ist die Kraft des elektr. Stromes in dieser Beziehung $= \frac{1}{51}$, folglich das Verhältnifs der Kraft des elektrischen Stromes wie $\frac{1}{51}$ zu $\frac{1}{101}$ beinahe doppelt so grofs wie zuvor. Verhält sich aber umgekehrt der Widerstand in der Flüssigkeit zum Widerstande der festen Theile des Volta'schen

Digitized by Google

Kreises, namentlich des menschlichen Körpers, der bei seiner grofsen Ausdehnung einen beträchtlichen Widerstand entgegensetzt, wie 1:100, so würden, wenn man durch Verdoppelung der Oberfläche, wodurch die Flüssigkeit mit den Metallplatten in Berührung steht, oder durch Erhöhung des Leitungsvermögens der Flüssigkeit durch einen Zusatz von Säure oder Salz den Leitungswiderstand von 1 auf $\frac{1}{2}$ herabbringt, während 100 unverändert bleibt, die Kraft des elektr. Stromes doch nur auf $\frac{1}{100,5}$ gebracht, welches sehr wenig gröfser ist, als $\frac{1}{101}$, ja wie grofs man auch die erregende Oberfläche und von wie gutem Leitungsvermögen man auch die Flüssigkeit nehmen möchte, die Gröfse der möglicher Weise hierdurch zu erreichenden Wirkung würde nicht über $\frac{1}{100}$ steigen können, bis dahin nämlich, wo der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit verschwunden ist. Man sieht aber auch zugleich hieraus, dafs unrichtig von einigen Schriftstellern, namentlich von Biot [1], den kleinplattigen Säulen sogar eine gröfsere Wirkung auf den menschlichen Körper zugeschrieben worden ist, als den grofsplattigen Säulen. Stets wird mit Vergröfserung der Oberfläche oder mit Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit die Wirkung auf den menschlichen Körper wachsen müssen, aber allerdings in einem um so mehr verschwindenden Verhältnisse, je gröfser vom Anfange an der Leitungswiderstand des menschlischen Körpers gegen den übrigen Leitungswiderstand war. Aus dem, was über die Intensität des elektr. Stromes und die Umstände, von denen die Verschiedenheit derselben abhängt, vorgetragen worden ist, erklärt sich auch sehr befriedigend ein interessantes Phänomen in der Reihe der physiologischen und diese Erklärung dient zugleich zur Bestätigung unserer Darstellungsweise. Wir haben oben schon bemerkt, dafs die Erschütterungen, welche der menschliche Körper beim Schliefsen einer Volta'schen Säule erfährt, an Stärke ungemein zunehmen, wenn die nafsgemachten Hände gute Leiter, wie Zinkplatten, eiserne Kugeln u. dgl. umschliefsen und mit diesen die Pole berühren. Der Grund davon liegt in der mit der bedeutenden Vergröfserung der Berührungsoberfläche des menschlichen Körpers mit dem metallischen Leiter im Verhältnisse stehenden Verminde-

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 948. §. 99.

Digitized by Google

rung seines Leitungswiderstandes. Wenn man aber die feuchte Berührungsfläche blofs auf einer Seite vergröfsert, während man sie auf der andern unverändert läfst, so nimmt die Stärke des Schlages blofs auf letzterer Seite zu, vermindert sich dagegen auf derjenigen Seite, auf welcher die Berührungsfläche vergröfsert wird, und wenn man das Verhältnifs recht weit vergröfsert, kann der Schlag auf der einen Seite ganz verschwinden, während er auf der andern Seite ausnehmend gesteigert wird. Vergröfsert man aber auch die Berührungsfläche auf dieser Seite immer mehr, so steigt diesem entsprechend die Stärke des Schlages auf der andern Seite, während sie sich auf dieser mindert. Jedenfalls aber bleibt die Stärke des Schlages auf beiden Seiten gröfser, wenn die Berührungsflächen auf beiden Seiten gröfser, als wenn sie kleiner sind[1].

DD. Nobili's Figuren.

Zu den Versuchen über die chemischen Wirkungen der hydroelektrischen Säule sind seit der Bekanntmachung unsers Artikels über den Galvanismus zwei neue Versuchsreihen hinzugekommen, welche Erscheinungen betreffen, die durch ihre eigenthümliche Form sehr charakteristisch sind und auch dazu geeignet scheinen, über die Bewegung und Form der elektrischen Strömungen selbst noch mehr Aufklärung zu verschaffen. Diese Versuche betreffen 1) gewisse bleibende Figuren, welche man nach ihrem ersten Beobachter Nobili, einen um die Lehre von Galvanismus und Elektromagnetismus hochverdienten italienischen Physiker, die *Nobili'schen Figuren* nennt, und 2) gewisse ganz eigenthümliche Bewegungen in den Flüssigkeiten, welche dem elektrischen Strome unterworfen werden. Nobili theilte die erste Nachricht von seinen Beobachtungen im December 1826 mit [2], worauf noch mehrere andere Mittheilungen desselben folgten[3]. Eine zugleich einfache und be-

1 Ritter in G. VII. 478. und in seinen Beiträgen I. 4. S. 276.

2 Ueber eine neue Klasse elektrochemischer Erscheinungen von Leopold Nobili aus der Bibl. univers. Tome XXXIII. Dec. 1826. übers. in Schweigger's Journ. XLIX. 58.

3 Schweigger's Journ. L. 144. LIII. 441. LIV. 40. Vergl. auch Poggendorff Ann. X. 392.

Digitized by Google

queme Vorrichtung, diese Erscheinungen darzustellen, wozu Nobili einen besondern, aber, wie uns scheint, entbehrlichen Apparat angiebt[1], ist, dafs man zwei starke, aber unten in eine feine Spitze ausgezogene Platindrähte durch Körke, welche in zwei ungefähr in einem Zoll Abstand von einander gebohrte Löcher eines Querholzes eingelassen sind, vertical hindurchgehn läfst, so dafs sie sich in den Körken auf- und abschieben lassen. Unter die Drähte setzt man ein gläsernes oder porzellanenes Gefäfs, in welches man eine wohl polirte Metallplatte legt, die man eine oder zwei Linien hoch mit einer beliebigen Flüssigkeit übergiefst. Die Art, den Versuch anzustellen, ist eine doppelte. Man schiebt nämlich entweder den einen Draht so weit hinab, dafs er mit der Platte in Berührung kommt, während die Spitze des andern eine halbe Linie oder noch weniger darüber entfernt bleibt, oder auch man läfst die Spitzen beider Drähte um so viel von der Platte entfernt und setzt die Drähte jedenfalls mit den Polen einer Volta'schen Säule in Verbindung.

Hat man die Spitzen beider Drähte in einiger Enfernung von der Metallplatte gelassen, so wirkt sie als eingebrachte metallische Zwischenplatte mit abgeleiteten Polen, dem positiven Drahte gegenüber als negativer, dem negativen Drahte gegenüber als positiver Pol, und es bilden sich beiden Drähten gegenüber Figuren, der Beschaffenheit des abgeleiteten Poles gemäfs; ist aber ein Draht mit der Platte in Berührung, so wirkt sie blofs als Verlängerung des Poldrahtes mit einseitiger ursprünglicher Polarität und es bildet sich dann auf ihr blofs eine einzige Figur, der entgegenstehenden Drahtspitze gegenüber und der Polarität der Platte gemäfs. Im letztern Falle erscheint die Figur deutlicher und entwickelter, im erstern Falle lassen sich die Versuche dadurch abändern, dafs man die Drähte in eine gröfsere Nähe oder gröfsere Entfernung von einander bringt, wo im erstern Falle Störungen der Figuren durch einander eintreten, welche über die Art der Bewegung der elektrischen Flüssigkeit einigen Aufschlufs zu geben versprechen.

Positive Figuren nennen wir diejenigen, welche entstehn, wenn positive Polarität in der Metallplatte thätig ist,

1 Schweigger's Journ. LIV. 40.

Digitized by Google

sey es als ursprüngliche oder abgeleitete, in welchen beiden Fällen die positiven Figuren dem negativen Drahte gegenüber stehn, das Entgegengesetzte gilt für die Bezeichnung der *negativen Figuren*. Zur Darstellung der positiven Figuren reicht schon eine Säule von 12 Plattenpaaren von einer Oberfläche von einigen Quadratzollen vollkommen hin, zur Darstellung der negativen Figuren mufs man sich im Allgemeinen einer stärkern Säule bedienen oder man mufs gemischte Auflösungen anwenden. Damit die Versuche recht glänzend ausfallen, müssen die Platten recht schön polirt seyn, die schönsten Figuren erhält man auf Platinplatten, demnächst auf Stahlplatten.

Aus der grofsen Reihe von Versuchen Nobili's, die eine grofse Menge von Flüssigkeiten umfassen, heben wir diejenigen aus, die theils über den Vorgang hierbei am meisten Aufklärung geben, theils durch die Eleganz der Producte ein allgemeines Interesse einflöfsen können. Wenn diese Figuren vollkommen ausgebildet sind, so zeigen sie den allgemeinen Charakter, dafs sie aus mehrern concentrischen Zonen bestehn, die sich auf einen Mittelpunct, welcher der Drahtspitze gegenüber liegt, beziehn, Zonen, die zum Theil mit den schönsten Regenbogenfarben nach einem bestimmten Gesetze prangen und durch einen Absatz der positiven und negativen Stoffe der Auflösung (der Metalle, des Kohlenstoffs, Schwefels, der Alkalien einerseits, andererseits des Sauerstoffs, Iods, der Säuren) in höchst dünnen Schichten gebildet werden.

Essigsaures Blei. Auf positivem Gold und Platin bilden sich binnen wenig Augenblicken verschiedene concentrische, mit Regenbogenfarben schillernde Ringe, von ebenso glänzenden Farben, als die Farbenringe Newton's. Diese schillernden Ringe entwickeln sich einer aus dem andern, indem sie nach Art der Wellen fortschreiten; ihre Lebhaftigkeit und Nettigkeit hängt zum grofsen Theile ab von dem Grade von Politur der Oberfläche, auf welcher sie hervortreten. Auf wenig polirter Oberfläche zeigen sie sich gewöhnlich schwach und verwirrt. Sie widerstehn der Wirkung eines mäfsigen Feuergrades, aber verschwinden gänzlich durch die Wirkung der Salpetersäure. Weniger bestimmt, aber viel mannigfaltiger wird die Erscheinung, wenn man die Anzahl der negativen

Digitized by Google

Polardrahtspitzen vermehrt und diese zu regelmäfsigen Figuren, z. B. in Gestalt eines Dreiecks, Vierecks u. s. w., anordnet. So viele Spitzen, so viele Systeme concentrischer, mit Regenbogenfarben schillernder Ringe bilden sich auf der entgegengesetzten Platte, und diese durchkreuzen und schneiden sich nicht bei ihrer Verbindung, wie Wellen thun würden, sondern, wenn sie mit einander in Berührung gekommen sind, vergröfsern sie sich blofs in der Richtung nach aufsen, so dafs sie einen gemeinschaftlichen Umkreis bilden. Auch positives Silber zeigt die nämlichen Regenbogenfarben, wiewohl minder deutlich als Gold und Platin. Blei, Zinn, Wismuth und Antimon zeigen nichts Bemerkenswerthes.

Essigsaures Kupfer. Auf positivem Golde, Platin und Silber zeigte sich beinahe nichts Bemerkenswerthes. Auf negativem Silber bildeten sich oft 4 concentrische Ringe, welche der Luft ausgesetzt folgende Farbenschattirungen annahmen. Auf einen dunkelrothen Mittelpunct folgt ein röthgelblicher Ring, dann ein minder dunkler blauer, und endlich eine andere Schattirung von Rothgelb, welche einen viel breitern Ring bildet als die ersten. Eine dünne Schicht Salpetersäure macht diesen letztern verschwinden, die drei letztern bleiben zurück mit den gewöhnlichen Farben des Körpers in seinen beiden Zuständen als Oxyd und als Metall. In der Mitte zeigt sich das Oxyd, dann folgt das reine Metall umgeben von einem zweiten Oxydringe.

Essigsaures Kupfer und *Salpeter.* Auf negativem Silber entsteht ein metallisch glänzendes Centrum, dann eine Reihe concentrischer Ringe, die in folgender Ordnung auf einander folgen. Der Mitte zunächst zwei kleine graue Ringe von nicht sehr intensiver Färbung, dann ein weifser, ein rother, ein graulicher und endlich eine schöne braunrothe Kupferzone. Um diese Zone schliefst sich ein himmelblauer, mit strahlenförmig sich ausbreitenden Linien gleich einem graduirten Kreise bezeichneter Ring. Diese Strahlen erstrecken sich bis auf den Kupferring. Zuletzt kommt eine zweite ungleich breitere, aber eben so glänzende Kupferzone, umgeben von einem schönen grauen Ringe, welcher die Figur begränzt. Auf Gold und Platin zeigen sich die nämlichen Erscheinungen. Von Einflufs auf das Gelingen dieses Versuchs ist es, dafs die Metallscheiben nicht zu sehr polirt sind.

Digitized by Google

Brechweinsteinauflösung. Auf positivem Silber fünf von der Mitte ausgehend folgendermafsen gefärbte Ringe: der erste dunkel, der zweite silberweifs, der dritte himmelblau, zum Violetten neigend, der vierte silberweifs, der fünfte violett, aber lichter an seinem äufsern Rande. Auf negativem Silber fünf andere concentrische Ringe, von welchen der erste schwarz, der zweite gelbröthlich, der dritte schwarz, der vierte hellblau, der fünfte schwach dunkel gefärbt ist.

Von den vielen Substanzen aus den organischen Reichen, die Nobili dem Versuche unterwarf, führen wir nur folgende an, die das Bemerkenswertheste lieferten.

Petersiliensaft. Auf positivem Silber ein dunkelfarbiger Punct im Centrum, umgeben von einem weifslichen und grünen Stoffe, dann zwei schöne Regenbogen, von denen der eine stärker gefärbt ist als der andere und die von dem Centralpuncte durch eine Zone geschieden sind, welche von einem so durchsichtigen Flore überzogen ist, dafs sie kaum von reinem Silber sich unterscheidet. Hitze ertheilt dem Regenbogen aufserordentliche Lebhaftigkeit und Glanz.

Mangoldsaft (Beta vulgaris Linn.). 1) Saft von der Rübe. Auf positivem Silber in der Mitte ein rother Punct, umgeben von vier Ringen, deren erster gelb, der zweite blau, der dritte roth und der vierte grün ist; weiter nach aufsen zeigen sich zwei oder drei sehr schöne Regenbogen. 2) Saft der Blätter. Auf positivem Silber dieselben Phänomene, bis auf einige Abweichungen hinsichtlich der mittlern Ringe.

Schweinsgalle. Auf negativem Silber im Centrum ein Stoff, der nach innen zu dunkel, nach aufsen gelb gefärbt ist, dann einige verschiedenartig gefärbte Ringe, welche von einem sehr deutlichen Regenbogen umgrenzt sind, der seinerseits in einer blauen Zone sich auflöst. Zwischen dem Regenbogen und den innern Ringen zeigt sich eine Zone von schöner Rosenfarbe.

Serum von Menschenblut. Auf positivem Platin und Gold keine Erscheinung. Auf positivem Silber gegen das Centrum hin einige aschfarbige Ringe, dann eine sehr hellglänzende Silberzone und eine Reihe sehr lebhafte Regenbogenfarben spielender Kreise, deren letzter sich in eine violette Farbenschattirung verliert. Durch die Wirkung der Hitze erhalten diese Regenbogen eine rothe Färbung. Auf negativem Golde,

Digitized by Google

Platin und Silber setzt sich eine weifse nicht sehr adhaerirende Substanz ab. Auf eine ähnliche Weise wie das Serum verhält sich die *Kuhmilch.*

Diese Figuren haben bei allen Flüssigkeiten und auf allen Metallen, die man anwenden mag und wo sie überhaupt entstehn, das mit einander gemein, dafs sie concentrisch abwechselnd hellere und dunklere, öfters gefärbte Ringe bilden, und zwar gilt dieses sowohl für die positiven als auch für die negativen Figuren. Jedoch überwiegt der positive Pol bei weitem den negativen in dem Vermögen, in der Form solcher Figuren die Substanzen auszuscheiden und auf die Metallplatten abzusetzen, welcher Unterschied schon bei chemischen Praeparaten beträchtlich ist, aber noch ohne Vergleich stärker hervortritt, wenn man organische, z. B. thierische Flüssigkeiken oder Pflanzensäfte, anwendet, mit welchen man sogar nur am positiven Pole ins Auge fallende Phänomene erhält.

Man kann jedoch die Wirkung des negativen Pols theils durch Verstärkung des elektrischen Stromes, theils wenn man Metallauflösungen anwendet, durch Hinzufügung eines Salzes mit alkalischer Basis zu denselben, wie insbesondere des Salpeters, erhöhn. Am wenigsten geeignet zur Hervorbringung dieser Figuren sind die Auflösungen der Alkalien. Als Platten zur Aufnahme derselben scheinen sich nur die negativen Metalle vom Messing an zu eignen, auf positiven Metallen, als Blei, Zinn, Zink, konnte Nobili keine deutlichen Erscheinungen wahrnehmen. Vielleicht liegt dieser Vorzug der negativen Metalle wenigstens in Bezug zu den positiven Figugen nur darin, dafs sie selbst minder leicht von der Flüssigkeit angegriffen werden, mithin dem Absatze der Substanzen eine unverändert bleibende Fläche darbieten.

Im Allgemeinen widerstehn die elektrochemischen Figuren mehr oder weniger der Einwirkung des Reibens. Durch Erhitzung werden ihre Farben auf überraschende Weise belebt. Hat man eine Figur hervorgebracht, welche dem einen Pole entspricht, so kann man sie wieder verschwinden machen, wenn auch nicht in allen Fällen gänzlich, indem man einen elektr. Strom von entgegengesetzter Richtung darauf wirken läfst. Diese Umkehrung giebt zuweilen zur Entstehung neuer Farben Veranlassung, welche den Charakter der ursprünglichen Erscheinung verändern.

Digitized by Google

Eine eigene Reihe von Versuchen hat Nobili über die Formstörung jener elektr. Figuren angestellt, welche beobachtet wird, wenn man auf einer und derselben Metallplatte die beiden Figuren, die positive und negative, neben einander und zwar in einer gewissen Nähe entstehn läfst. In diesem Falle wird keiner von den beiden Polardrähten in unmittelbare Berührung mit der Metallplatte gebracht, sondern sie tauchen neben einander in die zu zersetzende Flüssigkeit in einer Nähe von 1 bis 1,5 Zoll. Nobili bediente sich zu diesen Versuchen vorzüglich einer Mischung von essigsaurem Kupfer und essigsaurem Blei auf Platin. Während jede Figur einzeln dargestellt vollkommen rund ist, so sind dagegen beide unter den obigen Umständen zugleich dargestellt stets mehr oder weniger zusammengedrückt und kleiner als bei der einzelnen Darstellung. Jedenfalls aber bleibt zwischen beiden Figuren ein vollkommen reiner und glänzender Zwischenraum, in welchem die Platte auch nicht von dem geringsten Hauche überzogen erscheint. Zu beiden Seiten dieses Zwischenraums sind die Umrisse der Figuren so scharf abgeschnitten, dafs die dunkle Farbentinte der Platte, welche die Figur am äufsern Rande umgiebt, hier ganz und gar fehlt. Man kann jedoch diese Störung der Form dadurch verhindern, dafs man die Communication der Flüssigkeit von einer Hälfte der Platinplatte zur andern durch eine gläserne Scheidewand hindert, so dafs der Strom blofs durch die Platinplatte von einer Hälfte des Gefäfses zur andern gelangen kann. In diesem Falle erstrecken sich beide Figuren ganz ohne Formstörung bis dicht an die Scheidewand.

Stellt man diesen Versuch mit essigsaurem Blei und essigsaurem Kupfer einzeln genommen an, so erzeugen sich ähnliche Phänomene; in diesem Falle aber übertrifft die eine der beiden Figuren die andere bedeutend an Ausdehnung und an Lebhaftigkeit der Farben. Bei Anwendung von essigsaurem Blei ist die positive Figur sehr grofs und besteht aus schönen farbigen Ringen, die sehr fest auf der Scheibe haften, während die negative Figur nur aus einer ziemlich dünnen Schicht von sehr fest anhängenden Bleitheilchen besteht, die sich mit den Fingern hinwegwischen lassen. Das Gegentheil findet beim essigsauren Kupfer statt, in welchem Falle nämlich die negative Figur die ausgezeichnetste und am feste-

Digitized by Google

sten haftende ist. Es hängt überhaupt von der Beschaffenheit der Auflösungen ab, welche von beiden Figuren bei dieser Art der Anstellung der Versuche die ausgezeichnetste ist, auch kann wohl die eine oder andere Figur gar nicht zum Vorschein kommen, aber auch dann erscheint die zum Vorschein kommende Figur ebenso beschränkt, als ob ihr die andere zur Seite stände, welches anzudeuten scheint, dafs eine wirkliche, aber nur nicht sichtbare Modification des Metalls neben ihr statt finde. Da zwischen den neben einander gebildeten und sich einander in ihrer Ausbildung an der innern einander zugekehrten Seite beschränkenden und störenden Figuren ein vollkommen leerer Zwischenraum ohne Spur von Absatz ist, so kann diese Störung nicht dadurch entstehn, dafs vermöge des Zusammentreffens die Schichten, aus denen sie bestehn, sich gegenseitig zusammendrücken. Nobili sucht daher diese Erscheinung auf eine sehr künstliche Weise aus dem elektr. Zustande der Metallplatten abzuleiten. Er geht in seiner Erklärung von der Erscheinung aus, dafs, wenn zwischen den beiden Drähten eine dünne Glasplatte eingeschoben wird, welche die freie Communication von der einen Hälfte der Flüssigkeit zur andern aufhebt, die Figuren sich vollkommen entwickeln und, statt durch einen beträchtlichen Zwischenraum getrennt zu seyn, sich bis dicht an die Scheidewand erstrecken. Er wirft die Frage auf, ob hierbei nicht eine Art von Refraction des elektr. Fluidums nach Art des Lichts, wenn es aus einem Medium in das andere übergeht, statt finde, sofern auch hier das elektr. Fluidum aus der Flüssigkeit in die Metallplatte überzugehn gezwungen ist. Jedoch fehlen uns noch zu viele Data, um einer solchen Annahme einigen Werth beilegen zu können. Uns scheint die Erklärung des ganzen Phänomens sehr nahe zu liegen. Wenn keine freie Communication zwischen der Flüssigkeit auf der innern Seite in dem Falle, wenn die gläserne Scheidewand eingeschoben ist, statt findet, so können die negativen und positiven Grundstoffe, die, jene vom negativen, diese vom positiven Drahte, nach allen Seiten zurückgetrieben werden, nach der innern Seite zu sich nicht begegnen und wieder mit einander verbinden, und legen sich also auf allen Seiten gleichförmig, jene auf der dem negativen Polardrahte zugekehrten positiven, diese auf der dem positiven Polardrahte zugekehrten

Digitized by Google

negativen Hälfte der Metallplatte an. Wird dagegen die Scheidewand entfernt, so begegnen sich die einander zunächst liegenden positiven und negativen Substanzen, vereinigen sich wieder mit einander und entgehn der Absetzung auf der Platte auf dieser innern Seite, und nur die an dieser Seite dem Mittelpuncte näher gelegenen Theile tragen zur Bildung der Figuren bei, die also auf der innern Seite beschränkt, verengert erscheinen und einen vollkommen leeren Zwischenraum zwischen sich lassen müssen, während die Theilchen, die auf der äufsern Seite zurückgetrieben werden, sich frei bewegen und so weit anlegen können, als der elektrische Kegel seine Wirkung überhaupt ausbreiten kann, weshalb die Figuren hier erweitert und regelmäfsig abgerundet erscheinen müssen.

EE. Elektrochemische Bewegungen.

Eine höchst interessante Classe von Erscheinungen, von welchen unter dem Artikel *Galvanismus* noch nicht die Rede gewesen ist und welche von dem Strome der Volta'schen Säule abhängen, verdient hier noch eine nähere Betrachtung, nämlich gewisse sehr gesetzmäfsige Strömungen und Bewegungen in Flüssigkeiten, die unter ganz bestimmten Bedingungen eintreten.

Der Professor Gerboin zu Strafsburg[1] hat die ersten Spuren der hierher gehörigen Erscheinungen beschrieben. Es waren wirbelförmige Bewegungen leichter Körperchen, die sich im Wasser über Quecksilber befanden, welches letztere sich in einer doppelt gebogenen zweischenkligen Röhre befand und das Mittelglied zwischen zwei Golddrähten, die die Pole einer kräftigen Volta'schen Säule in das Wasser leiteten, bildete. Im Augenblicke der Schliefsung des Kreises erzeugte sich dann an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Golddrahte gegenüber stand und folglich seinerseits selbst als positiver Pol auftrat, augenblicklich eine Oxydschicht und es fand daselbst keine Bewegung statt, dagegen erfolgte in dem andern Schenkel über der Fläche des Quecksilbers, welche dem positiven Drahte gegenüber stand und nun selbst als negativer Pol auftrat, jene wirbelförmige Bewegung im Wasser, die sich an den leichten Körperchen in demselben

1 G. XI. 340.

Digitized by Google

kund that. Gerboin hatte aber hierbei das wichtigste Phänomen, von welchem jene Bewegung abhing, nämlich das Aufsteigen des Quecksilbers, übersehn. Der schwedische General Hellwig hatte Erman in Berlin eine hierher gehörige merkwürdige Bewegung eines Quecksilbertropfens unter dem Einflusse der Volta'schen Strömung gezeigt, die damals ganz räthselhaft schien[1]. Später (1809) eröffnete Erman auf seinem eigenen Wege dieses neue Gebiet von Erscheinungen, nämlich von ganz eigenthümlichen Bewegungen sowohl des Quecksilbers als auch anderer Flüssigkeiten unter dem Einflusse der Volta'schen Elektricität, und knüpfte daran jene ihm ganz entfallene Mittheilung Hellwig's als ein untergeordnetes Phänomen[2]. So gebührt eigentlich dem Berliner Physiker diese Entdeckung, die er in einem sehr interessanten Aufsatze ausführlich erörterte. Sechzehn Jahre später faſste Herschel in England diese Entdeckung von neuem auf und machte auf mehrere dabei übersehene Umstände aufmerksam[3]. Pfaff erweiterte die Versuche noch mehr und stellte ein neues Erklärungsprincip für dieselben auf[4]. Schweigger zog sie mit dem ihm eigenthümlichen Scharfsinne in das Gebiet der elektromagnetischen Erscheinungen[5]. Endlich wendete auch Nobili bei Gelegenheit seiner elektrischen Figuren auf diesen Gegenstand seine Aufmerksamkeit und fügte einige neue Thatsachen hinzu[6].

In der Beschreibung der Erscheinungen werden wir vorzüglich unsere eigenen Versuche zum Grunde legen. a) Man übergieſst recht reines Quecksilber in einem passenden Gefäſse (einem Uhrglase, einer Porzellanschale) mit einer sauren, alkalischen oder salzigen Flüssigkeit und bringt darauf die Polardrähte einer Volta'schen Säule (nach Schweigger am besten einer groſsplattigen) auf eine der folgenden Arten damit in Beziehung. Man taucht entweder die beiden Drähte, wobei immer Platindrähte gemeint sind, wenn nicht das Gegentheil bemerkt ist, in die Flüssigkeit, ohne daſs sie mit dem Quecksilber selbst in Berührung kommen, oder man setzt das

1 G. XXXII. 289.
2 Ebendas. 261.
3 Schweigger's Journ. XLIV. 191. XLVIII. 46.
4 Ebend. XLVIII. 190.
5 Ebend. 324.
6 Ebend. XLIV. 41.

Digitized by Google

Quecksilber mit dem einen Drahte in unmittelbare Verbindung, den man durch die Flüssigkeit bis in dasselbe hineinreichen läfst, während der andere blofs in die Flüssigkeit taucht. Im erstern Falle treten in der Quecksilbermasse selbst zwei abgeleitete Pole ganz so, wie in der Metallplatte, auf welcher Nobili seine Figuren darstellt, auf; im zweiten Falle ist das Quecksilber selbst nur als Verlängerung des Pols des Drahtes, mit welchem es in Verbindung steht, zu betrachten. Der dritte Hauptfall, wo beide Drähte in das Quecksilber eintauchen und in diesem der Kreis unmittelbar geschlossen wird, bietet keine besondern hierher gehörigen Erscheinungen dar. Die mechanischen Vorrichtungen, um diese Versuche mit aller Sorgfalt anzustellen, bieten sich jedem mit dergleichen Untersuchungen einigermafsen vertrauten Physiker von selbst dar. Schweigger hat einen ganz bequemen Apparat dazu angegeben[1]. Es kommt wesentlich hierbei darauf an, dafs man mit aller Behutsamkeit den einen oder den andern Draht oder beide Drähte dem Quecksilber nähern, in leise Berührung damit bringen, wieder zurückziehn, auch in beliebiger Richtung gegen dasselbe bewegen könne.

Wir wollen als ersten Hauptfall denjenigen betrachten, der durch die Zeichnung einigermafsen anschaulich gemacht ist, wo der äufsere punctirte Kreis den Rand des Gefäfses (Uhrglases), bis an welchen die salzige Flüssigkeit nahe hinreicht, der innere Kreis den Umrifs der Quecksilbermasse, die ellipsenartigen Linien darauf die Störung in der über dem Quecksilber befindlichen Flüssigkeit, und + und — die Polardrähte der Säule, wovon der negative in das Quecksilber selbst, der positive diametral gegenüber in die Flüssigkeit eintauchen, darstellt. Ist dann, wie in dem hier betrachteten Falle, die Flüssigkeit eine Auflösung von reinem Kali oder kohlensaurem Kali, so tritt in dem Augenblicke, wo der Kreis auf die angegebene Weise geschlossen wird, eine *auffallende Abplattung*, eine Ausdehnung des Quecksilbers ein, dessen Durchmesser bei starken Säulen (z. B. von 100 Plattenpaaren von 3 bis 4 Quadratzoll Oberfläche) sich fast um $\frac{1}{4}$ vergröfsert und dessen Höhe in demselben Verhältnisse abnimmt, und mit dieser Abplattung, wobei das Quecksilber seinen Glanz unverändert be-

Fig. 17.

1 Dess. Journ. XLVIII. 339.

Digitized by Google

hält, der, wenn er etwas getrübt war, vielmehr nun wieder hergestellt wird, tritt zugleich ein lebhafter Strom in der Flüssigkeit von dem positiven nach dem negativen oder dem in das Quecksilber eingesenkten Drahte ein, den wir in unserer Abhandlung nach Herschel's Vorgange durch den Namen des *positiven* Stromes bezeichneten (was aber Schweigger vielmehr eine Drehung der *negativ elektrisirten* Flüssigkeit nennt), ein Strom, der in *gerader* Richtung über das Quecksilber weggeht, auf beiden Seiten in einer gekrümmten Richtung der Krümmung des Uhrglases gemäfs zurückkehrt und in gewisser Hinsicht einen doppelten Strom darstellt. Die Abplattung des Quecksilbers ist in einzelnen Fällen besonders bei stärkeren Säulen mit einer Art von Wälzung der Quecksilberkugel verbunden, wobei der Rand des Quecksilbers gleichsam undulirt und sich faltet. Wird der negative Draht wieder aus dem Quecksilber herausgezogen, aber in der Lauge gelassen, so dauert dieser Strom noch fort, nimmt sogar an Schnelligkeit zu und wird nun besonders durch die Gasblasen, die sich am negativen Drahte reichlich entbunden hatten und nun in den Strom hineingezogen werden, auffallender. Doch hört dieser Strom nach einiger Zeit gänzlich auf, *wobei sich in dem Augenblicke des Aufhörens das Quecksilber etwas zusammenzieht.* Zieht man die Drähte aus der Lauge heraus und schliefst von neuem den Kreis in derselben, so stellt sich der Strom nicht wieder ein, sondern alles verhält sich so, wie nachher für diese Art der Schliefsung angegeben werden wird.

Je länger der negative Draht mit dem Quecksilber in Verbindung geblieben ist, um so länger dauert auch der positive Strom nach aufgehobener Verbindung des negativen Drahtes mit dem Quecksilber fort, bei fortdauernder Schliefsung des Kreises in der Lauge, und um so schneller ist der Strom. Dieser Erfolg beweist deutlich, dafs durch die Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte dasselbe eine Modification angenommen hat, die zur Unterhaltung jener Bewegung eine Zeit lang fähig macht. Herschel hat nachgewiesen, dafs diese Veränderung auf einer Legirung mit Kalium beruht, welches durch den Einflufs des Stromes reducirt sich mit dem Quecksilber am negativen Pole verbunden hat. Ein entscheidender Beweis dafür liegt darin, dafs, wenn zu einer bekannten

Digitized by Google

Menge reinen Quecksilbers gleich Anfangs etwas Amalgama eines Alkalimetalls zugesetzt wurde, sich ein starker positiver Strom in dem Augenblicke erzeugte, wo der Kreis in der Lauge geschlossen wurde, obgleich keiner der Drähte das Quecksilber berührte. Dieses Alkalimetall mufs sich jedoch, wenn das Quecksilber aufser Berührung mit dem negativen Drahte kommt, wieder zu Alkali oxydiren, und in dem Mafse, als dieses geschieht, hört die Strömung auf. Hat man daher die Drähte aus der Lauge herausgenommen und schliefst mit denselben wieder den Kreis nur in dieser, so wird nur ein positiver Strom mitwirken, wenn dieses früher geschehn ist, als das Quecksilber durch Oxydation des Kaliums zu seiner ursprünglichen Reinheit zurückgekehrt ist. So sehr werden die Erfolge durch die vorangegangenen Versuche modificirt, und nimmt man darauf nicht gehörige Rücksicht, so trifft man da nur Anomalieen, wo doch ein strenges Gesetz herrscht. Herschel hat auch Versuche über eine ähnliche Wirkung anderer Legirungen, die durch die vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte unter entsprechenden Flüssigkeiten gebildet werden, angestellt und gefunden, dafs die mit dem Quecksilber in Verbindung tretenden Metalle jene Erscheinung um so auffallender darboten, je elektropositiver sie selbst sind. Ein Milliontheilchen der ganzen Masse des Quecksilbers im Kalium ertheilte ihm schon diese Eigenschaft. Bei $\frac{1}{160000}$ Natrium bemerkte man noch eine deutliche Ausströmung vom positiven Pole; Ammonium ertheilte aber diese Eigenschaft nicht, dagegen Baryum, dessen Legirung mit dem Quecksilber schon dadurch bewirkt wurde, wenn man nur eine Säule von 8 Paaren und salzsauren Baryt anwendete, ebenso Strontium und Magnium [1]. Aendert man die Lage des positiven Drahtes gegen den negativen in den vorigen Versuchen ab, so ändert sich damit zugleich die Gestalt und Richtung des Stromes. Wird nämlich der positive Draht, der in den vorigen Versuchen dem negativen diametral gegenüber stand, allmälig um das Quecksilber herumgeführt, so folgt der Strom stets der Linie, die man vom positiven nach dem negativen Drahte ziehn kann, und bald verwandelt sich der Strom nur in einen einfachen Strudel, in-

1 Schweigger's Journ. LIV. 41.

Digitized by Google

dem er in einer kleinern Curve nicht durch die Mitte des Quecksilbers sich hinzieht und nur auf der einen Seite des Uhrglases von dem negativen zu dem positiven Drahte zurückfliefst u. s. w.

Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt, auch der positive Draht in dasselbe eingesenkt, so zieht sich in demselben Augenblicke die Quecksilberkugel zusammen und nimmt die Krümmung an, die sie auch sonst in der Flüssigkeit haben würde, und es ist dann überhaupt alles zur relativen Ruhe gekommen.

Wird der bisher beschriebene Fundamentalversuch auf die entgegengesetzte Weise angestellt, und zwar so, dafs der negative Draht in die Lauge eintaucht, der positive dagegen mit dem Quecksilber in Berührung kommt, so findet in dem Augenblicke der Berührung eine deutliche Zusammenziehung des Quecksilbers statt; das Quecksilber nimmt eine gröfsere Convexität an, aber fast ebenso schnell überzieht sich dasselbe mit einer Oxydhaut; sein Glanz verliert sich, es wird zähe, steif, so dafs man es hin und her ziehn und ihm jede Gestalt geben kann; dabei breitet es sich allmälig in einen gröfsern Raum aus und seine im ersten Augenblicke, aber nur vorübergehend, convexer gewordene Oberfläche wird stufenweise flacher. Das Phänomen der Oxydation modificirt sich nach der Stärke des elektr. Stromes. Bei Anwendung einer Säule von 24 Plattenpaaren von 2″ Durchmesser spielt die Oxydschicht mit den schönsten Regenbogenfarben, besonders mit einer tombackbraunen und blauen Farbe, das Quecksilber oxydirt sich nur auf den ersten Grad, aber schon bei Anwendung einer Säule von 50 Plattenpaaren ist die Schicht gelb, es bildet sich sogleich Oxyd, noch auffallender geschieht dieses durch eine Säule von 120 Plattenpaaren, besonders an der Stelle, die dem negativen Drahte gerade gegenübersteht, und die Erstarrung und das Zähewerden des Quecksilbers ist dann gleichsam der Effect eines Augenblickes. Während der Berührung des Quecksilbers mit dem positiven Drahte ist unsern Beobachtungen zufolge keine Spur von Strömung zu bemerken. Nach Herschel[1] soll sie jedoch unter der Oxydkruste statt finden und ebenso sichtbar werden, als die vorhin beschrie-

1 Schweigger's Journ. XLIV. 191.

bene positive Strömung, wenn man die Bildung dieser Oxydschicht durch Hinzufügung einiger Tropfen schwacher Salpetersäure hindert. Man begreift indefs nicht, wie die Hinzufügung einiger Tropfen Salpetersäure zu einer alkalischen Lauge eine solche Wirkung haben kann, wenigstens wollte es uns nicht gelingen, auch scheint Herschel hierbei Strömungen des Quecksilbers im Auge gehabt zu haben, von denen bis jetzt überall noch nicht die Rede gewesen ist. Sie sollen in diesem Falle vom negativen Pole ausgehn.

Wird der positive Draht wieder aufser Berührung mit dem Quecksilber gebracht, der Kreis bleibt aber in der Lauge geschlossen, so beharrt das Quecksilber in jener zähen, starren Beschaffenheit und Ausbreitung, mit seiner Oxydschicht bedeckt, und aufser der Gasentbindung ist nichts zu bemerken. So wie aber der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wird, zieht sich das Quecksilber mehr oder weniger schnell wieder zusammen, in dem Verhältnisse, in welchem die Oxydhaut verschwindet, erhält wieder seinen alten Glanz und runde Form, und in demselben Augenblicke, wo die letzte Spur von Oxyd verschwunden ist, tritt dann wieder, wie im Nu, die Ausbreitung und Abplattung, die vom negativen Drahte abhängt, ein und der lebhafte positive Strom beginnt, welcher den letzten Rest des schwarzen oder gelben Oxyds, das sich bisweilen noch vorfindet, mit Schnelligkeit über das Quecksilber treibt und mit sich fortreifst.

Eine ähnliche Wirkung, als durch Berührung mit dem negativen Drahte, kann man auch dadurch hervorbringen, dafs man das Quecksilber, das sich zuvor am positiven Pole mit Oxyd bedeckt hatte, nach Oeffnung des Kreises mit einem reinen, nicht elektrisirten Drahte berührt, der in der galvanischen Spannungsreihe dem positiven Pole näher steht, als das Quecksilber, und zwar um so auffallender, je elektropositiver das Metall ist (doch soll Zinndraht wirksamer als Zink seyn). Man sieht dann das Oxyd schnell am Berührungspuncte verschwinden, als wenn es verschluckt würde, und das umliegende Quecksilber sich von allen Seiten nach dessen Stelle stürzen, während auf der Oberfläche sich ein Strom nach dem Drahte hin bildet. Hier wird in Folge einer einfachen Kettenwirkung aus dem positiven Drahte, dem negativen Quecksilber und der Flüssigkeit das Quecksilber ebenso in einen

Digitized by Google

negativen Zustand versetzt, wie mit dem negativen Polardrahte, und der Erfolg ist daher auch derselbe.

b) Wird gleich anfangs ohne vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit einem Polardrahte der Kreis blofs in der Lauge geschlossen, so hat man gleichsam in dem Quecksilber beide unter a) isolirt betrachtete Fälle vereinigt, indem es sich nach dem Gesetze der Zwischenplatten in zwei Zonen theilt und folglich zugleich als positiv und negativ wirkt. Allein nach Beschaffenheit der Umstände überwiegt bald mehr die positive, bald mehr die negative Zone, so dafs bald mehr die Erscheinungen der einen, bald mehr der andern Art der vorigen Schliefsung beobachtet werden, indem die Ströme oder Wirbel der einen Zone dann gleichsam die der andern verschlingen. Daher rührt es dann auch, dafs die Angaben der Beobachter über die Richtung und selbst über das Vorhandenseyn der Strömungen in diesem Falle sehr abweichend von einander sind. Wir konnten in unsern Versuchen keine Spur von Strömung bemerken, nur bot sich uns als ganz constantes Phänomen eine Anziehung des Quecksilbers durch den positiven Pol, die sich als eine ruckweise Bewegung seiner ganzen Masse zeigte, dar. Dieses Ausbleiben der Strömungen in unsern Versuchen hing ohne Zweifel von einer nicht gehörigen Wirksamkeit unserer Säulen ab. Schweigger[1], der grofsplattige Säulen von 5″, mitunter von 9″ im Durchmesser anwendete, erhielt auch in diesem Falle wirbelförmige Strömungen und, was bemerkenswerth ist, auch in einer Lösung von kohlensaurem Kali nach dem Typus derjenigen in der Schwefelsäure, wie auch Erman früher sie schon erhalten hatte.

Nobili[2] will bei dieser Art der Schliefsung, wenn die Platindrähte vertical über eine Schicht reinen Quecksilbers von 2 bis 3″ im Durchmesser in die einige Linien über demselben stehende Flüssigkeit so eingetaucht werden, dafs ihre Spitzen nun durch einen sehr kleinen Zwischenraum von der Quecksilberfläche getrennt sind, folgende Erscheinungen, und zwar bei Anwendung des Glaubersalzes, beobachtet haben. In dem Fig. 18. Augenblicke, dafs man die Drähte mit der Säule von mittel-

1 A. a. O. S. 329.

2 Schweigger's Journ. LIV. 58.

mäfsiger Stärke in Verbindung setzt, wird man sogleich im Umkreise der den Polspitzen gegenüberliegenden Puncte der Quecksilberfläche (sie mögen respective n und p heifsen, je nachdem sie dem negativen oder positiven Drahte gegenüber stehn) zwei Systeme von Strömen sich bilden sehn. Betrachtet man das Quecksilber unter einem schiefen Winkel, so wird man auf seiner Oberfläche Grenzen wahrnehmen, welche den äufsern Umrissen der gewöhnlichen elektrochemischen Figuren entsprechen, die entstehn würden, wenn man dem Quecksilber eine feste Metallplatte substituirte. Diese Grenzen bestehn aus ovalen Linien oder Streifen n′, n″, n‴ und p′, p″, p‴, innerhalb welcher das Quecksilber ein wenig niedriger steht, als aufserhalb. Diese Streifen sind deutlicher an den innern einander zugekehrten Seiten p′, p″ und n′, n″, als an den äufsern von einander abgewandten p‴ und n‴. In der Mitte o o nimmt man auf dem Quecksilber eine oder zwei Linien wahr, wo seine Oberfläche bewegt erscheint, wie durch das Znsammentreffen zweier entgegengesetzter Ströme. Selten sind die von dem Mittelpuncte p und n ausstrahlenden Ströme von gleicher Kraft; im Allgemeinen sind die vom Puncte p ausgehenden die wirksamsten, oder, wenn sie das nicht gleich zu Anfange des Versuchs sind, so werden sie es doch bald. Fast jederzeit bildet sich in p etwas Oxyd, welches durch den Strom nach aufsen fortgerissen wird, nach dem Umkreise p′, p″, p‴, wo es sich mehr oder minder anhäuft. Das Oxyd, welches über p′ p″ hinausgetrieben wird, breitet sich mehr oder weniger rasch nach der Gegend des negativen Poles hin aus, wo dasselbe absorbirt und reducirt wird, sobald die Ströme dieses Theils bis zu dem Grade an Kraft abnehmen, dafs sie der Ausbreitung kein Hindernifs mehr entgegenstellen. Die Masse der Flüssigkeit theilt sich nicht selten in zwei ungleiche Hälften, so dafs die eben durch o o bezeichnete Linie in die m m übergeht. Das Verhalten ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen. Fig. 19.

Wie in einer Kalilösung zeigen sich diese Erscheinungen auch auf gleiche Weise in Baryt, Strontian und Kalkwasser und in den Auflösungen der Salze mit solcher alkalischer Grundlage, doch in schwächerem Grade. Am schwächsten erscheinen sie im Wasser, doch gleichfalls nach demselben Typus.

c) Auf eine ganz entgegengesetzte Art verhalten sich die

Digitized by Google

Erscheinungen unter denselben Umständen, wenn das Quecksilber mit einer sauren Flüssigkeit bedeckt ist, und zwar zeigt sich dieser Gegensatz am deutlichsten bei Anwendung der *concentrirten Schwefelsäure*. Auch hier wollen wir die verschiedenen Hauptfälle unterscheiden.

α) Wird der Kreis blofs in der Säure geschlossen, so findet eine sehr merkliche Anziehung des Quecksilbers durch den negativen Pol statt, die in einer gleichsam zuckenden Bewegung desselben besteht und bei starken Säulen mit einer Abplattung und zugleich sichtbaren Verlängerung und Verschmälerung verbunden ist, die sich am stärksten zeigt, wenn die Drähte in diametraler Richtung des Quecksilbers einander gegenüber und zugleich dem Quecksilber so nahe als möglich stehn. Zugleich beginnt ein sehr lebhafter, negativer Strom, wie ihn die Zeichnung darstellt, nämlich von dem negativen nach dem positiven Drahte hin in zwei ganz ähnlichen Strudeln oder Ellipsen, als oben unter a) beschrieben wurden, nur bei gleicher Stärke der Säule mit einer viel gröfsern Schnelligkeit und in einer gröfsern Ausdehnung. Der Strom wird lebhafter, wenn die Masse des Quecksilbers zwischen beiden Polen vermehrt wird. Dieser Strom dauert fort ohne Verminderung in seiner Richtung und Stärke, so lange die Säule in Wirksamkeit ist, und hört nur auf mit ihrer Erschöpfung. Das Quecksilber wird hierbei in seinem Ansehn nicht merklich getrübt. Auch sehr schwache elektrische Ströme können durch die Strömungen in der Schwefelsäure sichtbar gemacht werden.

Fig. 20.

β) Im Augenblicke der Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte tritt statt der Abplattung, wie dieses der Fall in der alkalischen Lauge ist, eine auffallende Zusammenziehung des Quecksilbers ein, bei starken Säulen nimmt die Höhe des Quecksilbers wohl um $\frac{1}{4}$ der unsprünglichen zu; der Strom hört augenblicklich auf und das Quecksilber bedeckt sich auf seiner ganzen Oberfläche mit Luftblasen. Dieselbe Veränderung des Quecksilbers tritt auch ein, wenn der negative Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht und mit dem positiven Drahte der Kreis in der Säure geschlossen wird, nur dafs es in diesem Falle gar nicht zur Strömung kommt.

γ) Wird dagegen der positive Polardraht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht, so tritt sogleich auffallende Ab-

Digitized by Google

plattung und Ausbreitung des Quecksilbers ein, doch ohne dafs es sich mit einer eigentlichen Oxydschicht bedeckt; zugleich verwandelt sich jener lebhafte, aus zwei elliptischen Strudeln bestehende Strom (c α) in einen eine gerade Richtung nehmenden von etwa vierfach geringerer Geschwindigkeit.

δ) Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt (β), auch der positive Draht mit demselben in Berührung gebracht, so hört die vorhergegangene Zusammenziehung des Quecksilbers auf. Dieses breitet sich zu derjenigen Krümmung aus, die ihm ursprünglich zukommt, und die Gasblasen, womit das Quecksilber bedeckt war, weichen von derjenigen Stelle, wo der positive Draht das Quecksilber berührt, plötzlich über die Oberfläche zurück, so dafs diese wieder rein und glänzend erscheint, doch tritt keine weitere Strömung ein. Die Abplattung nimmt zu über den ursprünglichen Durchmesser, wenn nunmehr der negative Draht herausgezogen wird, die noch vorhandenen Gasblasen kehren wieder nach der Eintauchungsstelle des positiven Drahtes zurück und der vorhin beschriebene Strom beginnt.

Nach Herschel sollen ähnliche negative Ströme, wie in der Schwefelsäure, bei der Schliefsung des Kreises in der Flüssigkeit und den Auflösungen derjenigen Salze, deren Basis elektronegativ ist, also namentlich in den Auflösungen der Salze, deren Basis thonartig ist, und der gewöhnlichen Metallsalze noch auffallend genug erfolgen.

d) Wir haben bisher nur von einseitigen Strömen gehandelt, nach Herschel und Schweigger sollen aber auch gleichzeitig entgegengesetzte Ströme statt finden können. Bei einer grofsartigen, jedoch nach einigen Tagen nicht mehr mit allzuheftiger chemischer Kraft wirkenden Volta'schen Säule (bemerkt Schweigger[1]) gelingt es leicht, wenn ein durch Salpetersäure gereinigtes Quecksilber dünn mit gemeiner Kalilauge übergossen wird, die *vierfachen Wirbel* wohl halbe Stunden lang und darüber zu erhalten, welche dem ursprünglichen Typus elektromagnetischer Drehungen gemäfs sind. Auch bei Anwendung schwefelsauren Natrons, sowie des schwefelsauren Kali's sah Schweigger oft auf eine sehr aus-

1 Dessen Journ. LIV. 66.

Digitized by Google

gezeichnete Weise diese *vierfachen Wirbel*. Am auffallendsten boten sie sich in einem Falle in einer Lösung des kohlensauren Kali's dar. Die Zeichnung stellt das Phänomen selbst dar. Die punctirte Linie bezeichnet die Grenze der in ganz dünner Lage aufgegossenen Flüssigkeit, worein die Polardrähte P und Q tauchen, ohne das Quecksilber zu berühren, welches bei Eintauchung derselben die Gestalt o m p r q n o annahm. Elektrischen Gesetzen gemäfs mufs sich das Quecksilber in zwei Zonen theilen, von denen die eine m n q r p die positive ist, welche gewöhnlich die gröfste Ausdehnung hat, während o m n die negative Zone darstellt. Von letzterer weicht alle Flüssigkeit zurück (wenn man nicht allzuviel aufgegossen hat), o m n erscheint als rein glänzende Quecksilberfläche und die Wirbel finden also blofs zur Seite statt in der Richtung, wie sie durch die Pfeile angegeben ist, und zwar auf jeder Seite in entgegengesetzter Richtung, nämlich links um und rechts um. Schweigger weiset bei dieser Gelegenheit zugleich nach, dafs die Pfeile, durch welche Nobili die von ihm beobachteten Figuren auf der Oberfläche des Quecksilbers darstellt, gleichfalls auf solche vierfache Wirbel hindeuten.

Fig. 21.

e) Wendet man statt des reinen Quecksilbers Legirungen desselben an, so zeigen sich die Erscheinungen im Wesentlichen als dieselben, nur sind die Strömungen in dem Verhältnisse, in welchem das Quecksilber dadurch zäher geworden ist, weniger auffallend. Herschel behauptet, dafs, wenn man das Quecksilber einen Augenblick mit dem Ende eines reinen Zinkdrahtes berührt oder wenn man einen kleinen Antheil festen Zink-Amalgams hinzufügt, so wenig als man mit einer kleinen Nadelspitze nehmen könne, eine positive Strömung entstehe, wenn auch nur in der alkalischen Lösung, womit das Quecksilber übergossen ist, der Kreis geschlossen werde. Metalle, welche noch elektropositiver als das Zink sind, wie Kalium, Natrium, sollen noch viel stärker in derselben Art wirken, solche, welche negativer sind, schwächer in dem Verhältnisse ihrer gröfsern Negativität, so dafs schon beim Kupfer keine solche Wirkung mehr eintritt. Für das Zink haben wir nichts von der Art beobachten können, dagegen zeigt die Legirung mit Zinn das Ausgezeichnete, dafs schon 0,0001 durch die augenblickliche Ausbreitung unter einer Alkalilauge bei der Berührung mit dem positiven Drahte

Digitized by Google

und durch die Bildung einer zähen grauen Haut von einigem Metallglanze angezeigt wird.

Die *Gegenwart kräftiger Magnete* äufsert nach Herschel's [1] Versuchen durchaus keinen Einflufs auf die Hervorbringung, Aufhebung oder Abänderung jener Strömungen. Ferner gehn in zwei Zellen, die nur in eine sehr dünne, nichtleitende Scheidewand (ein dünnes Glimmerblättchen) geschieden sind, die Erscheinungen ungestört und so, als ob die Nähe der Strömungen in der andern Zelle gar keinen modificirenden Einflufs äufserte, vor sich, wenn man in jeder Zelle die Polardrähte einer besondern Zelle gleichzeitig wirken läfst. Besonders verdienen nun noch gewisse auffallende Bewegungen des Quecksilbers in einigen dieser Versuche eine Erwähnung. Hellwig war der erste, der solche Bewegungen des Quecksilbers beobachtete. Ein Quecksilbertropfen von 2—3″ Durchmesser sey mit einer geringen Menge Wasser bedeckt und umgeben, der negative Polardraht einer Volta'schen Säule sey irgendwo in dieses Wasser getaucht, der positive gleichfalls, aber ganz nahe am Quecksilbertropfen. Dieser Tropfen verändert augenblicklich seine sphärische Gestalt und zieht sich in die Länge gegen den positiven Draht zu, bis er ihn berührt hat. Wenn dieses geschehn ist, springt der verlängert gewesene Theil schnell zurück und die Masse rundet sich wieder ab; darauf dehnt sie sich wieder aus, aber in einer Richtung, die mit der vorigen einen rechten Winkel macht, endlich nimmt sie wieder die Kugelgestalt an, und darauf beginnt die Reihe dieser Veränderungen in derselben Ordnung aufs neue. Die Schnelligkeit dieser doppelt entgegengesetzten Vibrationen ist so grofs, dafs man sehr viele Mühe hat, sie deutlich wahrzunehmen, das Auge sieht gewissermafsen nur einen flammenden Stern, dessen vier Strahlen die zwei senkrechten Achsen der Ellipsoide sind, in die das sphärische Quecksilber mit continuirlicher Abwechselung umgestaltet wird.

Auf eine andere Weise und anders modificirt haben wir ähnliche Bewegungen des Quecksilbers folgendermafsen dargestellt.

Wenn man nämlich in dem oben unter a) beschriebenen Versuche, während der negative Draht das Quecksilber unter

---

1 Schweigger's Journ. XLIV. 186. XLVIII. 248.

der Kalilauge berührt, wodurch dasselbe stark abgeplattet wird, den positiven Draht, durch welchen der Kreis in der Lauge selbst geschlossen war, dem Quecksilber so nahe bringt, dafs er eben die Oberfläche desselben berührt, so zieht sich das Quecksilber wie durch eine Zuckung schnell zurück und geht sogar in Folge des Beharrungsvermögens noch über die Convexität hinaus, welche der Berührung an und für sich zukommt. Da es hierdurch wieder aufser Berührung mit dem positiven Drahte kommt, der negative Draht aber wieder auf Ausbreitung hinwirkt, so wechselt jene Zusammenziehung sogleich wieder mit einer Ausdehnung ab, das Quecksilber kommt von neuem mit dem positiven Drahte in Berührung, es tritt abermals Zusammenziehung ein und man glaubt ein kleines Herz vor sich zu sehn, dessen Contraction (Systole) regelmäfsig mit seiner Expansion (Diastole) abwechselt. Diese Pulsationen des Quecksilbers folgen bei Anwendung stärkerer Säulen mit aufserordentlicher Raschheit auf einander (wohl 15 und mehr auf die Secunde) und haben einen sehr grofsen Umfang, am Ende kommt das Quecksilber in die unregelmäfsigsten Bewegungen, hüpft aufwärts und seitwärts und sein Umfang nimmt alle mögliche Gestalten an. Selbst mit wenigen Plattenpaaren kann man diese Pulsationen hervorbringen, die aber dann langsamer und regelmäfsiger auf einander folgen.

Auch unter den Säuren kann man durch ein entgegengesetztes Verfahren diese Erscheinung hervorbringen. Unter diesen hat bekanntlich der negative Draht Zusammenziehung, der positive Draht Abplattung und Ausbreitung des Quecksilbers zur Folge. Berührt man also das Quecksilber mit dem negativen Drahte und nähert mit fester Hand von oben herab durch die Säure den positiven Draht dem Quecksilber bis zur Berührung, so tritt in demselben Augenblicke Expansion des Quecksilbers ein, dadurch kommt dieses aufser Berührung mit dem positiven Drahte, es tritt also eine neue Zusammenziehung vermöge der Wirkung des negativen Drahtes ein, der mit dem Quecksilber in Berührung geblieben ist. Eben damit erneuert sich aber die Berührung mit dem positiven Drahte, der eine neue Expansion veranlafst, und so wechselt das Quecksilber abermals zwischen Zusammenziehung und Ausdehnung, wie ein schnell pulsirendes Herz.

Gieſst man in eine doppelt gebogene zweischenklige Röhre

Digitized by Google

die ungefähr ¼ Zoll im Lichten haben kann, Quecksilber, bis es in jedem senkrechten Schenkel eine Höhe von 1½ bis 2 Zoll erreicht hat, bringt über jede dieser Quecksilbersäulen eine 2 bis 3 Zoll hohe Wassersäule, leitet in diese die Polardrähte einer kräftigen Säule und schliefst nun den Kreis, so erzeugt sich an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Drahte gegenüber steht, augenblicklich eine Oxydschicht und es findet in diesem Schenkel keine wahrnehmbare Bewegung statt. Im entgegengesetzten Schenkel verändert sich aber die Convexität seiner Fläche, es steigt gegen die Ränder, während das Wasser in den capillären Raum zwischen die Wände und das Quecksilber eindringt, wieder zurücktritt und so abwechselnd herab- und heraufströmt. Das Einstreuen irgend eines leichten Pulvers in das Wasser macht dieses continuirliche Ebben und Fluthen in lothrechter Richtung noch anschaulicher. Es bildet sich nebenbei dicht an den Wänden der Röhre ein ringförmiger Wirbel, wo die beigemengten fremdartigen Theilchen mit grofser Schnelligkeit durch den Impuls des steigenden und fallenden Wassers bewegt werden. Steht die Röhre vollkommen senkrecht, so halten sich die im Wirbel bewegten Körperchen an den Wänden und bilden eine kreisförmige Zone. Ist die Röhre etwas rückwärts oder seitwärts geneigt, so sammeln sie sich an der entgegengesetzten Seite an und bilden eine Art von Wirbel, der sich mitten im Wasser um seine Achse dreht. Bei jeder Verrückung des Platindrahts verändert sich die Bewegung der kleinen Körper, so wie die Gestalt und Lage des Wirbels, und zwar fliehen gleichsam die kleinen Körperchen von der Spitze des Drahts, der sie, so wie er sich bewegt, vor sich her treibt[1].

Ueber die Ursache dieser interessanten Phänomene sind sehr verschiedene Ansichten aufgestellt worden, und wir gestehn aufrichtig, dafs eine befriedigende Erklärung derselben noch fehlt, auch so lange noch fehlen wird, als das geheimnifsvolle Wesen der Elektricität, die Art seiner Leitung und Bewegung überhaupt noch so wenig aufgeklärt ist.

Erman, der zuerst jene sonderbaren Strömungen in Säuren und alkalischen Laugen beobachtete und sie unter dem

1 Gerboin in G. XI. 342.

Digitized by Google

Gesichtspuncte von galvanischen Figuren auffafste, hat sich auf keine nähere Erklärung derselben eingelassen. Dagegen hat er andere, in diesen Versuchen vorkommende Erscheinungen aus einer durch den elektrischen Strom bewirkten Vermehrung der Adhaesion zwischen dem Quecksilber und der Flüssigkeit, namentlich dem Wasser, zu erklären gesucht. Indefs stimmen die Erscheinungen mit dieser Erklärung nicht überein. Wenn auch Erman auf der einen Seite die Erscheinung, dafs ein kugelförmiger Wassertropfen, der auf dem Quecksilber sich befindet, in welchem der negative Draht eintaucht, sich in demselben Augenblicke über die ganze Oberfläche desselben ausbreitet, wenn durch den positiven Draht der Kreis im Wasser geschlossen wird, als den Ausdruck einer vermehrten Adhaesion geltend machen kann, so ist doch seine Reduction des gerade entgegengesetzten Verhaltens der Schwefelsäure, wenn sie derselben Art des Verfahrens unterworfen wird, welche nämlich zuvor als ein Schleier über das ganze Quecksilber ausgebreitet sich vielmehr im Augenblicke der Schliefsung von allen Seiten nach dem positiven Drahte hin zusammenzieht, sehr gezwungen. Auch hat Erman überhaupt in seiner Erklärung auf das entgegengesetzte Verhalten der chemisch entgegengesetzten Flüssigkeiten gar keine Rücksicht genommen.

Herschel sieht alle Erscheinungen als abhängig von den Bewegungen der Theilchen des Quecksilbers an. In Beziehung auf die negativen Strömungen soll es der von dem negativen Drahte ausgehende elektrische Strom seyn, der die Theilchen des Quecksilbers zurücktreibt, so dafs sie von dem Puncte aus, der dem negativen Drahte am nächsten steht, auf seine Oberfläche ausstrahlen. Für die positiven Ströme aber, die in den alkalischen Laugen oder in den Auflösungen von Salzen, welche eine alkalische Grundlage haben, eintreten, nachdem das Quecksilber zuvor mit dem negativen Drahte berührt und dadurch eine Legirung desselben mit dem in hohem Grade elektropositiven Metalle eingeleitet worden ist, hat er ein anderes Erklärungsprincip zu Hülfe genommen. Es ist sehr *wahrscheinlich* möglich, so lautet diese Erklärung[1], dafs ein stark elektropositiver Körper, wie Kali-Metall, wenn

1 A. a. O. 212.

es sich im Quecksilber befindet, seinen natürlichen elektrischen Zustand in der Nähe des positiven Pols erhöht haben könne und eben dadurch zurückgetrieben nun den einzigen Weg nehme, welchen ihm der Widerstand des Metalls von der einen Seite und die Cohaesion von der andern Seite erlauben, d. h. längst der Oberfläche, um sich von dem positiven Pole zu entfernen. Das elektropositive Metall kann sogar als ein Träger der positiven Elektricität wirken, welche ihm zu stark anhängt, um durch das Quecksilber geleitet zu werden (das, obgleich ein guter Leiter, weit entfernt ist ein vollkommener zu seyn), und angelangt auf der andern Seite der Kugel kann es dann erst durch den Einfluſs des entgegengesetzten Pols seinen erhaltenen elektrischen Zustand verlieren. Herschel fügt jedoch sogleich hinzu, daſs diese Erklärung noch viele Schwierigkeiten habe, und ohne Zweifel ist eine der wichtigsten, daſs bei der negativen Elektrisirung des Quecksilbers das Kalium sich zunächst an den negativen Draht anlegt und nicht zu begreifen ist, wie in demselben Augenblicke, in welchem der negative Draht herausgezogen wird, das von dem positiven Drahte entfernte Kalium von diesem abgestoſsen werden kann. Auch steht dieser Erklärung der Umstand im Wege, daſs in der Ammoniakflüssigkeit jene positive Strömung auch eintritt, ohne daſs der negative Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wurde und ohne daſs sich also Ammonium-Amalgama gebildet haben konnte. Was noch die negativen Strömungen in der Säure betrifft, so leitet Herschel dieselben lediglich von den Bewegungen der Quecksilbertheilchen ab, weil nur die unmittelbar auf der Oberfläche des Quecksilbers befindlichen mit erstaunlicher Kraft fortgerissen werden, die darüber befindlichen Schichten aber eher von jenen fortgerissen zu werden, als durch eine unmittelbar auf sie einwirkende Kraft bewegt zu werden scheinen. Auch will Herschel bemerkt haben, daſs, wenn man einigen Zwischenraum zwischen den beiden Drähten und dem Rande des Quecksilbers läſst, die Strömung sich beschränke und jene kreisende Bewegung in der Nähe des Quecksilbers entstehe, während die Flüssigkeit, welche die Drähte zunächst umgiebt, fast ganz in Ruhe bleibt. Herschel, der das Unzureichende seiner Erklärung selbst wohl gefühlt hat, schlieſst mit folgender sinnreichen Bemerkung. Es biete sich auch eine andere

Digitized by Google

Ansicht dar, nämlich die auf der Oberfläche der ungleich leitenden Flüssigkeiten stattfindende Wirkung als eine Kraft eigenthümlicher Art zu betrachten, abhängig von einem neuen Vermögen des elektrischen Stromes, ähnlich der magnetischen Kraft und vielleicht daraus hervorgehend.

An diese Ansicht schliefst sich nun am unmittelbarsten die von Schweigger[1] aufgestellte an, der die Erscheinung in der That als eine rein elektromagnetische betrachtet und jene Bewegungen der Flüssigkeiten und des Quecksilbers mit den rotirenden Bewegungen der Magnetnadel um einen Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom sich bewegt, für ganz identisch hält. Um einen Begriff von der Reduction dieser Bewegungen auf die elektromagnetischen Drehungen zu geben, haben wir nach Schweigger die verschiedenen Stellen der Quecksilberscheibe mit den Buchstaben bezeichnet, welche den entsprechenden Magnetpolen zukommen. Es soll nämlich auf der Oberfläche des von der Elektricität in der Richtung von + E zu — E durchströmten Quecksilbers in N ein Nordpol, in S ein Südpol entstehn, dann aber habe die Flüssigkeit, welche zunächst einen metallischen Leiter umgiebt, nothwendig die ihm gleichnamige Elektricität. Die unmittelbar über dem negativ elektrisirten Quecksilber befindliche Wasserfläche sey also gleichfalls negativelektrisch, demnach müfste das über S (dem elektromagnetischen Südpole) befindliche negativelektrische Wasser sich *rechts um*, das auf N (dem elektromagnetischen Nordpole) aufliegende positivelektrische Wasser *links um* bewegen, und in der Art zeige sich das Phänomen wirklich, also ganz genau so, wie es sich elektromagnetischen Gesetzen gemäfs zeigen müsse.

Verfolgt man jedoch diese Erklärung ins Einzelne, so bieten sich von vielen Seiten Schwierigkeiten dar. Es ist nicht wohl zu begreifen, warum im entgegengesetzten Falle, wenn nämlich das Quecksilber positiv elektrisirt wird, sich keine Spur von Strömung zeigt. Schweigger leitet das Ausbleiben der Drehung in diesem Falle davon ab, dafs die Oberfläche des Quecksilbers sich oxydire, also rauh werde, wodurch die sich drehenden Wassertheilchen in ihrer Bewegung gehemmt sind. Dieses könnte jedoch höchstens nur von der untersten,

1 Dessen Journ. XLVIII. 324.

Digitized by Google

in unmittelbarer Berührung mit der Oberfläche des Quecksilbers stehenden Wasserschicht gelten, aber doch keine gänzliche Hemmung in den mehr entfernten Wasserschichten zur Folge haben. Auch dauert ja in der Säure die Bewegung noch fort, wenn gleich der positive Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht worden ist. In dem Falle, wo in der Säure beide Drähte blofs in die Flüssigkeit tauchen, müfsten nothwendig zwei entgegengesetzte Ströme statt finden, da im Quecksilber beiderlei Pole zugleich auftreten, und doch findet nur ein einseitiger Strom von entgegengesetzter Richtung von derjenigen in der alkalischen Lauge statt, wo das Quecksilber mit einseitiger negativer Polarität auftritt. Auch die gänzliche Abwesenheit der Ströme bei Substituirung einer Platte eines starren Metalls bleibt vollkommen räthselhaft, wenn gleich Schweigger[1] diesem Einwurfe dadurch begegnet, dafs er sagt: Man glätte doch einmal die Oberfläche eines festen Metalls künstlich in dem Grade ab, wie die Oberfläche reinen Quecksilbers von Natur ist, und wenn dieses möglich wäre, wird nicht sogleich durch den chemischen Procefs Rauhigkeit entstehn, indem hier nicht wie bei einem flüssigen Metalle jede Oxydlage sich selbst ablösen kann? Eine solche Oxydschicht kann sich aber doch nicht in dem Falle bilden, wenn unter einer alkalischen Lauge der negative Draht mit der Metallplatte in Berührung gebracht wird. Auch ist der Mangel aller Einwirkung auch der stärksten Magnete auf jene Ströme kaum mit der elektromagnetischen Natur derselben vereinbar. Einen Hauptbeweis für die Richtigkeit seiner Erklärung findet Schweigger noch besonders in jenen *vierfachen Wirbeln*, von denen schon oben die Rede gewesen ist. Wenn der Strom von P nach Q geht, so ist elektromagnetischen Fig. Gesetzen gemäfs in NN' die nordmagnetische, in SS die süd-21. magnetische Hälfte der elektrisirten Quecksilberfläche. Das negativ elektrisirte Wasser (in der kohlensauren Kalilauge) mufs sich an der nordpolarischen und dabei negativelektrischen Quecksilberfläche *links um*, und *rechts um* an der südpolaren Quecksilberseite elektromagnetischen Gesetzen gemäfs bewegen, und die entgegengesetzten Bewegungen müssen auf der positiven Zone des Quecksilbers in der *über* demselben befindlichen, gleichfalls positivelektrischen, Flüssigkeit statt finden.

1 S. 344.

Digitized by Google

Wir haben alles auf das elektrische Verhalten der Flüssigkeiten, welches sie in Berührung mit dem Quecksilber, den galvanischen Gesetzen gemäfs, annehmen, zurückzuführen gesucht und die Bewegungen als selbstständige in den Flüssigkeiten selbst angenommen, abhängig von der repulsiven Thätigkeit der mit ihnen gleichnamig elektrischen Drähte. Die mit dem Quecksilber sich negativ verhaltenden Theilchen der Säure müssen vom negativen Pole zurückgestofsen, vom positiven Pole angezogen werden, welche Anziehung und Zurückstofsung von derjenigen, welche sich auf die Elementartheile der Säure und des Wassers bezieht, übrigens wohl zu unterscheiden wäre; umgekehrt müssen die mit dem Quecksilber sich elektropositiv verhaltenden Theilchen der alkalischen und salzigen Laugen von dem positiven Drahte abgestofsen, von dem negativen angezogen werden, im erstern Falle mufs also eine positive, im zweiten eine negative Strömung entstehn. Dieser Erklärung stand indessen als eine unüberwindliche Schwierigkeit die Nothwendigkeit der Mitwirkung des *flüssigen* Quecksilbers oder irgend eines andern *flüssigen* Metallgemisches entgegen, denn man begreift nicht, warum bei der Substitution einer Gold- oder Platinplatte, mit welchen die Säuren und Laugensalze einen gleichen elektrischen Gegensatz wie mit dem Quecksilber eingehn, keine Spur von Bewegung eintritt. Darum möchte ich aber nicht mit Herschel und Nobili die Bewegungen der Flüssigkeiten als blofs secundäre betrachten, die mitgetheilt worden sind von den allein ursprünglich in Bewegung gesetzten Theilchen des Quecksilbers, dem jene Flüssigkeiten blofs passiv folgen, von ihm gleichsam nur fortgerissen werden. Der Hauptbeweis dagegen scheint mir in der Thatsache zu liegen, dafs auch dann die Bewegungen der Flüssigkeiten und zwar in gerader Linie von einem Drahte zum andern statt finden, wenn auch gleich die Drähte *zur Seite des Quecksilbers* in die Flüssigkeit eintauchen.

So lange der ganze Vorgang der Art der Leitung und Fortbewegung der Elektricität noch in so tiefes Dunkel gehüllt ist, wie es in der That der Fall ist, wird auch von einer genügenden Theorie der abgehandelten elektrischen Bewegungen nicht die Rede seyn können.

Digitized by Google

II. Ladungssäule. Ritter'sche Säule. Secundäre Säule.

Unter dem Namen *Ladungssäulen* versteht man solche, welche an und für sich nicht im Stande sind, einen elektrischen Strom hervorzubringen und zu unterhalten, an denen auch nicht im ungeschlossenen Zustande die elektroskopischen Erscheinungen, wie sie jede ächte Volta'sche Säule oder jeden nach den Principien derselben eingerichteten galvanischen Apparat (galvanische Batterie) charakterisiren, wahrnehmbar sind, welche aber in Verbindung mit einer Volta'schen Säule gebracht und dann aus dem Kreise derselben herausgenommen alle Erscheinungen einer Volta'schen Säule darbieten, im ungeschlossenen Zustande nämlich entgegengesetzte elektrische Pole von gleicher Spannung zeigen, im geschlossenen Zustande aber einen elektrischen Strom hervorbringen, der alle Wirkungen des elektrischen Stromes einer gewöhnlichen Volta'schen Säule äufsert, die sich aber dann noch darin von den gewöhnlichen Volta'schen Säulen unterscheiden, dafs ihre Thätigkeit schnell abnimmt und bald gänzlich aufhört. Man hat diesen Säulen den Namen von *Ladungssäulen* gegeben, weil man ihre Wirksamkeit als abhängig von einer Art elektrischer Ladung der metallischen Scheiben, die wesentlich zu ihrer Construction sind, ansah, sie können auch *Ritter'sche* Säulen von ihrem Erfinder J. W. Ritter genannt werden; sofern ihre Wirksamkeit eine abgeleitete ist, werden sie auch *secundäre* Säulen genannt.

Wir haben an verschiedenen Orten unter dem Artikel *Galvanismus* die so merkwürdigen Elementarerscheinungen, welche in der Ladungssäule in einem verstärkten Grade erscheinen, zur Sprache gebracht, namentlich im §. 22. S. 609. §. 62. S. 812. §. 102. S. 972. Doch ist der Gegenstand für die ganze Theorie der Elektricität von so grofser Wichtigkeit, dafs er hier noch eine ausführlichere Erörterung finden mag, besonders in Beziehung auf die Phänomene der Ladungssäule selbst, von welcher in jenem Artikel noch gar nicht die Rede gewesen ist.

A. Das Historische.

Die erste Beobachtung, welche sich auf das Phänomen

Digitized by Google

der galvanischen Ladung bezieht, verdanken wir dem Franzosen Gautherot[1]. Er fand nämlich, dafs, wenn zwei Golddrähte, die, mit den Polen einer schwach wirkenden Batterie in Verbindung stehend, an die Zunge gebracht keinen oder nur einen höchst schwachen Geschmack bewirken, aus ihrer Verbindung mit den Polen entfernt und in ihrer Lage an der Zunge gelassen, wie sie nun für sich zur Kette geschlossen werden, einen sehr lebhaften Geschmack bewirken, der um so lebhafter wird, je öfter man diesen Versuch wiederholt. Diesen Versuch änderte Gautherot auch so ab, dafs er zwei Platindrähte von einander abgesondert durch einen Kork in eine Flasche mit Salzwasser gehen liefs, mit den äufsern Enden mit den Polen einer Batterie in Verbindung brachte. Nach aufgehobener Verbindung mit derselben brachten diese Enden, an die Zunge gehalten, den bekannten galvanischen Geschmack hervor. Unabhängig von dieser fragmentarischen und von Gautherot nicht weiter erklärten Erfahrung eröffnete aber Ritter auf seinem eignen Wege schon im Jahre 1801 dieses Gebiet neuer Erscheinungen. Da er das allgemeine Gesetz ausgemittelt, dafs bei der Oeffnung des galvanischen Kreises im Augenblicke der Trennung die vorher stattgehabten Empfindungen in die entgegengesetzten übergingen und also gleichsam eine Umkehrung der Polarität hier statt finde, so erwartete er etwas Aehnliches bei den mineralogischen Körpern, namentlich bei den Metallen, und fand dann wirklich, dafs ein aus zwei Stücken bestehender Golddraht, der im Kreise der Volta'schen Batterie als Leiter zwischen zwei Wasserschichten gedient, aus diesem Kreise herausgenommen und für sich allein mit seinen zwei Enden an die Zunge gebracht, während die beiden andern Enden selbst mit einander in Verbindung standen, mit demjenigen Ende, das in dem Kreise negativer Pol gewesen war, nunmehr als positiver Pol wirkte und den sauren Geschmack hervorbrachte, das andere Ende dagegen, vorher positiver Pol, nun als negativer sich thätig zeigte, folglich an diesem einen Golddrahte die beiden Pole zugleich thätig waren, und zwar in der entgegengesetzten Ordnung von derjenigen, welche sie im Kreise der Säule befolgt hatten.

1 Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde. IV. 711. 831.

Digitized by Google

Ebenso verhielt sich ein solcher gleichsam polarischer Golddraht gegen das Auge und gegen die Nerven, welche zu den Muskeln gehn. Ritter blieb hierbei nicht stehn, sondern erweiterte diese Versuche zur Erbauung der sogenannten Ladungssäule. Ungeachtet Ritter auf einem Wege, der ihm den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule von selbst in die Hände zu geben schien, zu der neuen Entdeckung gelangt war, so verfolgte er doch in seiner Erklärung einen ganz andern Weg und hinterliefs seinen Nachfolgern eine wichtige Nachlese. Seine Versuche wurden im Jahre 1803 von ihm bekannt gemacht[1], die Existenz dieser Ritter'schen Ladungssäule als einer ganz eigenthümlichen und des Phänomens der Ladung als eines ganz neuen wurde bald in Anspruch genommen und von Volta und Brugnatelli auf bereits bekannte galvanische Verhältnisse scheinbar zurückgeführt[2]. Damit schien die Sache abgeschlossen und in der That längere Zeit hindurch der Aufmerksamkeit der Physiker gänzlich entrückt, bis der Italiener Marianini durch eine grofse Reihe von Versuchen, die er in mehreren Abhandlungen bekannt machte, die richtige Erklärung der Ritter'schen Ladungssäule vorbereitete[3]. Nun nahm auch der Genfer Physiker De la Rive[4] im Jahre 1827 diesen Gegenstand wieder auf und, wie es scheint, ganz unbekannt mit den frühern Ritter'schen Versuchen bezeichnete er jene merkwürdige Eigenschaft der Metalle, unter bestimmten Umständen eine galvanische Ladung anzunehmen, mit dem Namen des *elektrodynamischen Vermögens*. Diese Versuche De la Rive's veranlafsten mich zu einer eigenen Arbeit, welche vorzüglich bestimmt war, De la Rive's Theorie zu prüfen[5]. Endlich schliefsen sich auch die interessanten Versuche Wetzlar's über die Reduction der Metalle auf nassem Wege an diesen Gegenstand an[6].

---

1 Voigt's Magaz. VI. 97. 181.
2 G. XIX. 491. XXI. 133. XXII. 202. 213.
3 Schweigger's Journ. XLIX. 22. 264.
4 Poggendorff's Ann. X. 423.
5 Schweigger's Journ. LIII. 295.
6 Ebendas. XLIX. 430. L. 88.

Digitized by Google

B. Die Thatsachen.

a. Die erste Reihe der hierher gehörigen Thatsachen bezieht sich auf die Veränderung, welche die Metalle in ihrer elektromotorischen Thätigkeit erleiden, wenn sie selbst als Glieder in der einfachen Kette zur Erregung des elektrischen Stromes mitgewirkt haben. Diese Thatsachen sind sehr ausführlich unter dem Artikel *Galvanismus* im §. 22. S. 609. abgehandelt worden. Das allgemeine Resultat der hierher gehörigen Versuche ist dieses, dafs negative Elektromotoren, welche mit positiven zur einfachen Kette geschlossen werden, dadurch die merkwürdige Veränderung erleiden, dafs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten dem positiven Ende der galvanischen Spannungsreihe näher rücken und mit ihnen ganz homogenen Platten, mit denen sie vor ihrer Anwendung als Kettenglieder nur eine unwirksame zweigliedrige Kette gebildet haben würden, nunmehr eine wirksame Kette bilden, in welcher sie die Rolle des positiven Elektromotors übernehmen. Diese Veränderung ist um so auffallender, je wirksamer die Kette an und für sich war, in welcher Hinsicht besonders Zink als positives Metall gebraucht sich wirksam beweist, jedoch auch andere sich positiv verhaltende Metalle, wie Blei, Zinn, Eisen, dieselbe Wirkung, nur in geringerem Grade haben; diese Veränderung kann so weit gehn, dafs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten mehrere ihnen zunächst stehende, dem positiven Ende sonst näher stehende Glieder der Spannungsreihe überspringen und mit diesen zur Kette geschlossen vielmehr mit positivem Werthe auftreten, während letztere sich negativ mit ihnen verhalten, wobei vorzüglich der Multiplicator und die vermittelst seiner durch die Art der Ablenkung der Magnetnadel angezeigte Richtung des elektrischen Stromes als Erkenntnifsmittel diente. Dabei ergab sich, dafs die Elektromotoren diese merkwürdige Veränderung ihrer elektromotorischen Thätigkeit, diese Umwandelung ihres negativen Werthes in einen positiven, unter gleichen Umständen in einem um so höhern Grade zeigen, je näher sie selbst dem negativen Ende der Reihe stehn, ungefähr, so weit die Versuche gehn, in folgender Ordnung: Graphit, Platin, Gold, Silber, Kupfer, Messing, Antimon, Eisen, Zinn, Blei. Man kann auch das negative Metall, nachdem es eine Zeit lang mit dem positiven zur Kette geschlossen gewesen, aus der

Digitized by Google

Flüssigkeit herausziehn und abtrocknen, ohne dafs dadurch jene Veränderung des elektromotorischen Werthes aufgehoben würde. Doch hebt eine längere Berührung mit der Luft diesen neuen Zustand allmälig auf. Eine *entgegengesetzte* Veränderung in der elektromotorischen Thätigkeit des als positives Glied der Kette wirksam gewesenen Metalls, eine Veränderung und Umkehrung seines positiven Werths in einen mehr negativen, findet in viel geringerem Grade statt und ist in mehrern Fällen gar nicht nachzuweisen. So konnte Marianini bei Zink, Quecksilber, Eisen, Blei und Zinn, wenn sie mit negativen Metallen combinirt waren, überall keine Zeichen einer solchen Veränderung wahrnehmen, nur Messing bot ihm Spuren derselben dar. Fechner[1] liefs Zinn Tage lang mit Kupfer zur einfachen Kette in salzsaurem Wasser geschlossen, ohne bei nachheriger Prüfung mit frischem Zinn irgend eine Spur erlangter Negativität zu bemerken, doch glaubt er beim Zink nach längerer Schliefsung eine solche Umkehrung in einen mehr negativen Zustand beobachtet zu haben. Oft sieht man die ganze Oberfläche des positiven Metalls Zink oder Zinn mit Silber oder Kupfer zur Kette geschlossen *geschwärzt*, ohne dafs dadurch eine Aenderung in der elektromotorischen Thätigkeit eingetreten ist, während umgekehrt bei den negativen Metallen eine sehr starke Aenderung der elektromotorischen Thätigkeit von keiner für das Auge sichtlichen Veränderung der Oberfläche begleitet ist, namentlich beim Platin. Doch beobachtet man dieselbe wohl beim Kupfer. Werden dagegen negative Metalle mit noch stärker negativen, in Rücksicht auf welche sie sich also als positive verhalten, zur Kette geschlossen, so bemerkt man allerdings eher eine solche Umkehrung ihrer mehr positiven Natur in die negative, worüber im Artikel *Galvanismus* S. 611. mehrere Versuche von Marianini angeführt worden sind. Hat ein Metall eine gewisse Veränderung seines elektromotorischen Verhaltens aus dem negativen in den mehr positiven erlitten, so kann man diese wieder aufheben und dasselbe in seinen vorigen Zustand zurückführen, wenn man es zum positiven Gliede einer Kette macht, z. B. wenn man Kupfer, das durch Schliefsung mit Zink relativ mehr positiv geworden ist, mit Graphit oder

1 Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. 1829. Bd. III. S. 271.

Digitized by Google

Platin zur Kette schliefst. Auch Erhitzen, Eintauchen in kochendes Wasser oder selbst das längere Aussetzen an die Luft stellt den ursprünglichen Zustand der Metalle wieder her, doch erhalten sie denselben längere Zeit, wenn sie wohl in Papier eingeschlossen verwahrt werden.

b. Auf eine noch auffallendere Weise wird unter Umständen, die dieses Phänomen von einer ganz neuen Seite zeigen und mehr auf die Ansicht einer eigentlichen Ladung der Metalle führen, diese Veränderung des elektromotorischen Zustandes hervorgebracht, wenn die Metalle als Leiter des elektrischen Stromes starker galvanischer Batterieen dienen, womit besonders De la Rive's und meine eigenen Versuche sich beschäftigt haben. Man läfst zu diesem Behuf zwei Drähte oder Streifen von demselben Metalle (oder von Kohle, Graphit, Graubraunsteinerz) als Polarenden der Säule wohl isolirt durch einen Korkstöpsel in eine Gasentbindungsröhre gehen, so dafs sie bis zu einer hinlänglichen Tiefe von einem halben oder ganzen Zoll in die Flüssigkeit hineinreichen, und um die Wirkung zu verstärken, bringt man sie einander hinlänglich nahe. Ist der elektrische Strom einer kräftigen Batterie eine Zeit lang durch sie hindurch gegangen und bringt man dann, nach aufgehobener Verbindung mit den Polen der Säule, die aufserhalb der Röhre befindlichen Enden solcher Drähte mit den beiden Enden eines Multiplicators in Verbindung, so dafs sie dadurch zur Kette geschlossen werden, so erfolgt eine Ablenkung der Magnetnadel, zufolge welcher der mit dem negativen Pole in Verbindung gewesene Draht sich positiv gegen denjenigen verhält, welcher mit dem positiven Pole in Verbindung gestanden hat. Man erhält denselben Erfolg, wenn man den Kork mit den Drähten herausnimmt und diese in eine Röhre mit einer gleichen Flüssigkeit, die aber keinem elektrischen Strome ausgesetzt gewesen war, bringt. Die Drähte, aus der Röhre herausgenommen oder auch in derselben gelassen, verlieren in kurzer Zeit ihre Ladung von selbst wieder, um so eher, je schwächer sie geladen waren.

Die Stärke der Ladung und die davon abhängige Dauer der Zeit, während welcher jene Drähte sie behalten, hängt von verschiedenen Umständen ab.

1) Alle Umstände, welche den chemischen Procefs in der Gasentbindungsröhre befördern, dienen auch zur Verstärkung

Digitized by Google

der Ladung, also insbesondere die Kraft des Stromes und die Beschaffenheit der in der Röhre befindlichen Flüssigkeit. So bringt Wasser gar keine merkliche Ladung hervor, Kochsalzauflösung schon eine stärkere, Salmiakauflösung eine noch stärkere, so wie verdünnte Schwefelsäure. Bei einem kräftig wirkenden Strome sind 6 bis 8 Minuten zur Hervorbringung des Maximums von Ladung hinreichend, und weit entfernt, durch das mehrere Stunden fortgesetzte Durchströmen dieses Maximum verstärken zu können, fällt vielmehr die Ladung schwächer aus, wenn die Säule selbst von der Art ist, dafs sie schon nach einigen Stunden an Wirksamkeit abnimmt. Bei geschwächter Wirksamkeit der Säule wird das Maximum oft erst nach einer halben oder ganzen Stunde erreicht. Die Dauer der Ladung, wenn die Drähte aus dem Kreise herausgenommen sind, richtet sich im Ganzen nach der Stärke dieser Ladung, und wenn dieselben erst einmal das Maximum erlangt haben, so ist ein längeres Verweilen im Kreise ohne weitern Einfluſs auf die Dauer der Ladung.

2) Von einem grofsen Einflusse zeigt sich aber die besondere Natur der Drähte. Die metallischen Leiter sind nämlich um so geeigneter zur Annahme der Ladung, je näher sie dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. Wir fanden unter fast gleichen Umständen folgende Ordnung in der Stärke der Ladung, von demjenigen ausgegangen, welches die stärkste Ladung annahm: *Graubraunsteinerz* (in Krystallen angewandt), *Graphit*, wohl ausgebrannte *Kohle*, *Platin*, *Gold*, *Silber*, *Kupfer*, *Messing*, *Eisen*, *Zinn*, *Blei*, *Zink*. Dieselbe Ordnung findet gleichfalls statt in Ansehung der Zeitdauer, während welcher sie die erlangte Ladung behielten, so dafs also z. B. Zink diese Eigenschaft, die dasselbe an und für sich nur in einem sehr schwachen Grade zeigte, in wenigen Secunden wieder verlor, während Graphit und besonders Kohle sie viele Stunden behielten. Es ist von den Physikern, welche diese Eigenschaft durch ihre Versuche aufgeklärt haben, versäumt worden, zu untersuchen, ob in allen diesen Fällen der mit dem positiven Pole in Verbindung gewesene Draht eine gleich starke negative Ladung angenommen habe, als der mit dem negativen Pole verbunden gewesene eine positive, eine Prüfung, die sich anstellen läfst, indem man jeden Draht besonders mit einem gleichartigen ungelade-

Digitized by Google

nen zur Kette schliefst. Fechner[1] glaubte bei Anwendung keiner sehr genauen Prüfungsmethode bei Platin- und Silberdrähten eine Gleichheit der relativen Ladung beobachtet zu haben. Die sehr negativen Elektromotoren nehmen hierbei auf ihrer Oberfläche eine auffallende Veränderung an; die Gold- und Silberdrähte auf der negativen Seite überziehen sich mit einer schwarzen Haut, das Graubraunsteinerz verliert seinen Glanz und setzt einigermafsen dendritische Flocken ab. Verwechselt man die Drähte oder Streifen, nachdem sie eine Zeit lang der Einwirkung der Säule ausgesetzt gewesen sind, um hinlänglich geladen zu werden, in ihrer Verbindung mit der Säule, so dafs der vorher positive Draht nun zum negativen Polardrahte gemacht wird, und umgekehrt, so vergehen stets einige Minuten, ehe die gewöhnliche Gasentwickelung an ihnen auftritt. Wenigstens fanden wir dieses bei Stücken von Graphit und Kohle, auch bei Drähten von Gold, Silber, Kupfer, und noch einigermafsen beim Messing. Wichtig für die Theorie dieser Erscheinungen ist der Umstand, dafs, um bei der Schliefsung der so geladenen Drähte zur Kette den neuen Strom zu erhalten, der die entgegengesetzte Richtung von demjenigen hat den die Säule unterhalten hatte, es nicht erforderlich ist, dafs diejenigen Enden der Drähte, welche zuvor in der Flüssigkeit sich befanden, mit dieser selbst in Berührung bleiben, oder mit einer andern frischen Flüssigkeit in Berührung gesetzt werden, sondern man erhält auch den elektrischen Strom, wenn man den Kork schnell herauszieht und die Drähte umkehrt, so dafs nun die Enden, die vorher sich aufserhalb befanden und auf welche die Flüssigkeit durchaus nicht wirken konnte, in dieselbe eintauchen, wenn gleich die Wirkung schwächer ist und früher aufhört. De la Rive stellte den Versuch auf die Weise an, dafs er die aufserhalb der Flüssigkeit hervorragenden Drahtenden abschnitt, und sie dann gegen einander in einer Flüssigkeit prüfte. Es ist bei Anstellung dieser Versuche nicht gehörig ausgemittelt worden, ob die aufserhalb befindlichen Stücke, die, wenn gleich nicht mit der Flüssigkeit in Berührung, doch an der Ladung Theil genommen hatten, sich mit in dem geschlossenen Kreise befunden haben, so dafs der elektrische Strom genöthigt war, durch

1 Biot's Experimentalphysik. Bd. III. S. 275.

Digitized by Google

sie hindurch zu gehen. An zur einfachen Kette geschlossenen Elektromotoren, nach der ersten Art diese Versuche anzustellen, hat man die Ladung nicht über die Grenze der Berührungsfläche mit der Flüssigkeit hinaus wahrgenommen, man kann vielmehr eine Platte eines negativen Metalls auf diese Art leicht in zwei verschiedene elektromotorische Hälften scheiden, indem man blofs die eine Hälfte derselben mit dem feuchten Leiter in Berührung bringt, während man dieses Metall mit einem kräftig positiv wirkenden zur Kette schliefst. Reiben oder Waschen der Drähte nach erlangter Polarität hebt diese nicht auf, verringert sie aber jedesmal in einem gewissen Verhältnisse. Weder für sich allein durch das Elektrometer, noch durch Hülfe des Condensators untersucht zeigen übrigens diese Drähte oder Streifen, nachdem sie in den Ladungszustand versetzt worden sind, *irgend eine Spur von freier elektrischer Spannung.*

C. Die dritte Reihe von Thatsachen, die hierher gehören, bezieht sich auf diejenigen Versuche, durch welche in einem und demselben Metalle die entgegengesetzten Zustände gleichzeitig hervorgerufen werden oder ein und dasselbe Metallcontinuum eine entgegengesetzt polare Ladung erhält. Wir haben oben in dem Geschichtlichen bemerkt, dafs das ganze Gebiet dieser Erscheinungen durch einen solchen Versuch Gautherot's eröffnet wurde, Ritter aber war es, der schon damals diese Erscheinung nach allen Seiten verfolgte und die Hauptgesetze derselben bestimmte, ungeachtet ihm der Multiplicator mit der Magnetnadel, das empfindlichste Reagens für diese Art von Veränderungen, noch nicht zu Gebote stand. Das Phänomen in seiner gröfsten Einfachheit besteht darin, dafs irgend ein Metalldraht oder Streifen, welcher auf die Weise, wie im Artikel *Galvanismus* § 83. S. 879. angegeben ist, die Continuität des flüssigen Leiters, durch welchen der Strom der elektrischen Säule hindurch geführt wird, unterbricht, so dafs an seinen beiden Enden entgegengesetzte Pole auftreten, aus der Kette herausgenommen selbst Polarität zeigt, oder gleichsam für sich allein ein Paar heterogener Elektromotoren vorstellt, und zwar so, dafs das vorher negativ gewesene Ende (das dem + Pole der Säule gegenüber gestanden) nunmehr positive elektromotorische Thätigkeit, das dem negativen Pole der Säule zugekehrt gewesene positive Ende

Digitized by Google

negative Thätigkeit zeigt und der Draht oder Streifen, mit einem feuchten Leiter zur Kette geschlossen, einen elektrischen Strom giebt, der aber gerade die entgegengesetzte Richtung von derjenigen des elektrischen Stromes hat, durch welchen er im Kreise der Säule in diesen neuen (elektro-dynamischen) Zustand versetzt, galvanisirt, geladen wurde. Ritter erkannte diese neue Eigenschaft und ihr Gesetz nur durch Schliefsung des Drahtes mit seinen beiden Enden durch die sehr empfindlichen Sinnorgane, die Zunge, die Augen, so wie durch präparirte Froschschenkel. Auf die Zunge wirkte nämlich das Ende, welches vorher Wasserstoffgas gegeben hatte, wie *Zink*, und brachte den sauern Geschmack hervor, während das andere wie *Kupfer* wirkte und einen *alkalischen* Geschmack erzeugte. Entsprechend waren die Wirkungen auf das Auge und das Froschpräparat, doch vermochte Ritter keine Wasserzersetzung dadurch zu bewirken. De la Rive benutzte den Multiplicator mit der Magnetnadel zur Prüfung dieses neuen Zustandes. Ein solcher galvanisirter Platindraht an das eine Ende des Multiplicators gebracht und mit dem andern Ende in eine Flüssigkeit getaucht, in welche ein am andern Ende des Multiplicators angebrachter Platindraht gleichfalls eintaucht, bringt einen elektr. Strom hervor, dessen Richtung jenem obigen Gesetze gemäfs ist. Aber nicht blofs die beiden Enden des Drahtes, sondern jedes Stück desselben wirkt, und zwar wie das Ende, dem es zunächst liegt. Nur ist die Intensität der Wirkung um so geringer, als es sich der Mitte nähert, woselbst sie null ist, auch nimmt sie von dem Ende an sehr rasch ab. Theilt man den nämlichen Draht in zwei Theile und bringt beide an die Enden des Multiplicators, so geschieht alles so, als wenn man zwei getrennte Drähte, einen positiven und einen negativen, dahin versetzt hätte. Die Richtung des Stromes ist in dem einen Falle wie in dem andern völlig dieselbe. Ein besonders interessanter Versuch, durch welchen De la Rive eine vollkommene Uebereinstimmung des elektrischen Zustandes mit dem magnetischen nachzuweisen suchte, war der, dafs er einen solchen Draht an irgend einer Stelle durchschnitt. Soll diese Uebereinstimmung statt finden, so mufs man an den zuvor vereinigt gewesenen Enden, wenn man sie in dieselbe Flüssigkeit taucht, und durch Verbindung der entgegengesetzten Enden

Digitized by Google

die Kette schliefst, entgegengesetzte Pole erhalten. Die Richtung des Stromes zeigt, dafs dieses allerdings der Fall ist, allein der Strom ist schwach und oft null, wie dieses stets geschieht, wenn man sich nicht von den Drähten derjenigen Stücke bedient, welche in die der Wirkung der Säule ausgesetzte Flüssigkeit eingetaucht waren.

Ritter bestimmte auch schon genau die Umstände, welche auf die Stärke dieser Doppelladung eines Drahtes Einfluſs haben und welche, was namentlich die Beschaffenheit der Drähte, die Dauer der Einwirkung, die Stärke des el. Stromes u. s. w. betrifft, ganz dieselben sind, wie bei der einseitigen Ladung solcher Drähte oder Streifen. Ritter bemerkt dabei, dafs die Stärke der Ladung nur bis zu einer gewissen Anzahl Plattenpaare der Batterie zunahm, wie diese Anzahl, dann aber nach und nach stehn blieb, wenn auch jene Anzahl wuchs, ein Punct, welcher für jedes Metall ein anderer war. Auch bei solchen doppelt geladenen Drähten verschwand die Ladung allmälig wieder, selbst wenn sie sich überlassen waren, schneller aber, wenn sie zur Kette geschlossen wurden, und um so schneller, je besser der Leiter zweiter Classe in einer solchen Kette leitete. Die Erschöpfung der Ladung ist aber in solchen Fällen oft nur scheinbar. Man darf dann die Drähte nur 5 bis 10 Secunden ruhen lassen, und sie haben sich wieder erholt. Bei einem lange genug im Kreise der Batterie gewesenen Golddrahte will Ritter[1] diesen Wechsel der Erschöpfung und Wiedererholung öfters gegen 5- bis 6mal beobachtet haben. Selbst wenn er zwei unter gehörigen Umständen im Kreise der Batterie gewesene Golddrähte unter sich selbst verband, dafs an beiden Verbindungsstellen + mit — und — mit + zusammentrafen, wenn kein feuchter Leiter dazwischen trat, und er sie eine halbe oder ganze Stunde so verbunden liefs, war doch dadurch die Wirkung der Drähte für den nachherigen Versuch, wo die Zunge in die Kette trat, nur *geschwächt*, nicht *aufgehoben*, nach einigen Secunden Ruhe sammelte sie sich wieder und war von neuem in ziemlicher Stärke da. Nach einer Aeufserung von Ritter[2] soll diese Galvanisirung von Me-

1 Voigt's Magazin a. a. O. S. 113.
2 A. a. O. S. 111.

BAYERISCHE STAATS BIBLIOTHEK MÜNCHEN
Digitized by Google

talldrähten auch eintreten, wenn sie ohne Zwischenkunft eines feuchten Leiters die Pole einer Batterie unmittelbar verbinden, doch in diesem Falle in einem viel geringeren Grade.

d. Ladungssäulen.

So wie die Wirkung der einfachen Kette durch die Wiederholung derselben in der Volta'schen Säule vervielfältigt wird, so können nun auch die einfachen Ladungen und die davon abhängigen Wirkungen vervielfacht werden durch die Combination mehrerer Ladungselemente mit einander, und eine solche *Ladungssäule* verhält sich dann zur *einfachen Ladungskette* wie die Volta'sche Säule zur einfachen galvanischen Kette. Man kann nämlich mehrere homogene Metallplatten auf einmal laden, indem man sie abwechselnd mit feuchten Scheiben schichtet und diese aus Abwechselungen blofs *eines* Metalls und *eines* feuchten Leiters bestehende Säule in den Kreis einer Volta'schen Säule bringt, d. h. sie an ihren beiden Enden mit den Polen derselben in Verbindung setzt. Nimmt man eine solche secundäre Säule, nachdem der el. Strom eine Zeit lang durch sie hindurchgegangen ist, aus dem Kreise der ursprünglichen Säule heraus, so wird sie jetzt für sich alle Wirkungen dieser Säule, wiewohl in schwächerem Grade, zeigen, d. h. sie wird auf das Elektroskop wirken, Wasser zersetzen, Schläge ertheilen, auf die Magnetnadel wirken, wiewohl sie keine Spur von allen diesen Wirkungen vor diesem Durchströmen gezeigt hatte. Indefs nehmen die Wirkungen einer solchen Säule allmälig ab und verschwinden von selbst, sie kann dann aber immer wieder von neuem geladen werden, wenn sie von neuem in den Kreis der Volta'schen Säule gebracht wird.

Vergleicht man die Richtung des el. Stromes einer solchen Ladungssäule, der durch ihre Schliefsung eingeleitet wird, mit derjenigen der Volta'schen Säule, durch welche sie geladen wurde, so findet man, dafs dieselbe gerade die *entgegengesetzte* ist, was auch schon aus der Art der Vertheilung der Pole der Ladungssäule hervorgeht, indem jedesmal dasjenige Ende der Ladungssäule, welches mit dem positiven Pole der Volta'schen Säule in Verbindung stand, den positiven, das entgegengesetzte den negativen Pol zeigt.

Digitized by Google

Auf die Stärke der Ladung äufsern alle die Umstände, welche auch die Stärke der Ladung der Drähte, Platten u. s. w. in der einfachen secundären Kette bestimmten, den gleichen Einfluſs.

1) Die Ladung ist unter sonst gleichen Umständen um so stärker, je näher die Metalle, welche mit den feuchten Pappen geschichtet sind, dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. So nehmen von Metallen Goldplatten (z. B. Goldmünzen) die stärkste Ladung an, demnächst Silberplatten, dann Kupferplatten, Messingplatten, Eisenplatten, Zinnplatten, Bleiplatten, und eine solche Ladungssäule aus Zinkplatten zeigt eine kaum merkliche Wirkung. Die Dauer der Ladung ist auch um so länger, je näher die Metalle dem negativen Ende stehn, so hatte in Marianini's Versuchen eine Goldplattensäule von acht Abwechselungen, deren Spannung ursprünglich 4° nach dem Elektrometer war, in ¾ Stunden nur 2° abgenommen, während eine Kupferplattensäule, deren Spannung ursprünglich aber nur 2° gewesen war, sie gänzlich verloren hatte. Wenn aber auch die Spannung in beiden Säulen gleich gewesen war, hatte sie sich in der Kupferplattensäule viel schneller verloren.

2) Die Ladung der secundären Säule ist um so kräftiger, je kräftiger der elektrische Strom der ursprünglichen Säule ist, ein je besserer Leiter also die Flüssigkeit in dieser ist, je gröfser die Berührungsfläche derselben mit den Metallen, je gröfser die Zahl der Plattenpaare u. s. w.

3) Eine Ladungssäule nimmt eine un so stärkere Ladung an, je gröfser die Zahl der mit feuchten Pappen abwechselnd geschichteten Platten ist, doch erfordert in demselben Verhältnisse, in welchem die Zahl der Abwechselungen zunimmt, die Ladungssäule auch einen stärkern el. Strom, um eine starke Ladung anzunehmen.

4) Nach Ritter soll die Ladung der secundären Säule unter sonst gleichen Umständen um so stärker seyn, ein je schlechterer Leiter der Elektricität die Flüssigkeit in der secundären Säule ist, so sollen sich bei gleicher Volta'scher Batterie von 100 Zink-Kupfer-Platten mit Kochsalzlösung eine Säule aus 40mal Kupfer und Salmiakauflösung am schwächsten, stärker mit Kochsalzauflösung, am stärksten mit destillir-

Digitized by Google

tem Wasser geladen haben. Doch hat dieses seine Grenzen, denn 40mal Kupfer mit reinem Weingeist nahm fast gar keine Ladung an. Nach Marianini ist jedoch diese schwächere Ladung bei Anwendung eines bessern Leiters nur scheinbar und rührt vielmehr von der sehr schnell von selbst erfolgenden Entladung her, wenn die Ladungssäule aus dem Kreise der Volta'schen herausgenommen ist. Die Dicke des feuchten Leiters in der secundären Säule äufsert auch ihren Einflufs. Nach Ritter's Versuchen war eine Dicke von einer Linie günstiger, als von einer halben Linie und von zwei Linien bei Anwendung einer Volta'schen Säule von 90 Zink-Kupferplatten mit Kochsalzauflösung. Marianini fand bei Anwendung einer secundären Säule in Gestalt eines Becherapparats die Ladung um so schwächer, je weiter die Kupferplatten von einander abstanden.

Bei derselben Anzahl von Kupferplatten und feuchten Pappen ist die Wirkung der Ladung eine höchst verschiedene, je nachdem man dieselben unter einander vertheilt. Man setze z. B. von 64 Kupferplatten je 32 und 32 zusammen, so dafs sie ein Continuum bilden, und bringe 64 ebenfalls zu einem Continuum verbundene mit Wasser genäfste Pappen dazwischen, so ladet diese Combination sich unter allen möglichen Verbindungen jener 64 Kupferplatten und feuchten Pappen am schwächsten oder leitet nach der Ansicht, welche Ritter vom Ladungsprocesse aufstellt, am besten. Man ordne sie ferner so: 21 K. 32 P. 22 K. 32 P. 21 K.; diese Verbindung ladet sich schon stärker. Dann vertheile man sie so, dafs Pappe von Kupfer 2mal, 3mal, 4mal, 8mal, 16mal, 32mal, endlich 64mal unterbrochen werde, und bei jeder häufigeren Unterbrechung ist die Ladung stärker (die Leitung nach Ritter geringer). Es kommt also alles hierbei auf die Zahl der Unterbrechungen oder die Paare Metall und feuchter Pappe an, die auf einander in gleicher Ordnung folgen, und man begreift von selbst, dafs, wenn man jede von den 64 Platten Kupfer und feuchten Pappen in der letzten Anordnung wieder in zwei Theile theilt und so schichtet, dafs nun 128 solcher Unterbrechungen von K und P eintreten, die Ladung abermals stärker ist. Sofern Ritter hierbei Zunahme der Ladung mit Abnahme der Leitung für gleichbedeutend hält, ergiebt sich eben damit das Resultat, dafs man aus zwei ge-

Digitized by Google

gebenen Massen guter Leiter einen dritten zu construiren vermag, welcher schlechter und sehr viel schlechter leitet, als der schlechteste von jenen beiden, ja welcher fast ganz isolirt. Bei Anstellung der Versuche mit Kupferplatten, die auf so verschiedene Weise durch die feuchten Pappen unterbrochen wurden, glaubte Ritter zu dem merkwürdigen Resultate gelangt zu seyn, dafs das Maximum von Ladung für die chemischen Wirkungen ein ganz anderes sey, als für die physiologischen (Schläge, Geschmackempfindungen), ja dafs sich die letztere Wirkung ganz ohne alle chemische darstellen lasse, so wie dann auch Combinationen in der Sphäre der Ladungssäulen vorkommen sollen, wo chemische Wirkungen ganz ohne physiologische dargestellt werden können, welches demnach auf nichts Geringeres als die gänzliche Verschiedenheit der Ursache der chemischen und physiologischen Wirkungen hindeutet. Den Beweis für die erstere Trennung sollen nun eben jene Säulen, in welchen die feuchten Leiter gar nicht, dann 1mal, dann 2mal, 4mal, 8mal, 16mal, 32mal, 64mal, 128mal und 256mal von den Kupferplatten von wenigstens 2 Quadratzoll Oberfläche unterbrochen waren und welche Säulen nach der Reihe 4 bis 5 Minuten in den Kreis einer Volta'schen Säule von Z K und gesättigter Kochsalzauflösung gebracht wurden, geliefert haben.

Digitized by Google

Spannung.	*Physiologische Wirkung.*	*Chemische Wirkung.*
(Durch ein sehr empfindliches Goldblatt-Elektrometer untersucht.)	(Die Hände sind dazu mit Salmiakauflösung befeuchtet und mit Metallmassen armirt.)	(In einer Gasröhre mit Golddrähten, deren Enden $\frac{1}{4}$ Linie von einander abstehn.)
No. I. Noch unmerklich	blofs zuweilen ein höchst schwacher Geschmack	noch kein Gas
No. II. (1) kaum zu entdecken	merklicher Geschmack	zuweilen einige Bläschen
No. III. (2) deutlich etwas	stärkerer Geschmack und schwacher Schlag	bestimmt Gas
No. IV. (4) mehr als in III.	starker Schlag	mehr Gas
No. V. (8) gröfser als in IV.	noch stärkerer Schlag	wieder mehr Gas
No. VI. (16) gröfser als in V.	noch stärkerer Schlag	aufserordentlich viel Gas
No. VII. (32) gröfser als in VI.	immer noch stärkerer Schlag	zwar noch viel, aber doch weniger als in VI.
No. VIII. (64) gröfser als in VII.	wieder noch stärkerer Schlag	wieder weniger Gas
No. IX. (128) gröfser als in VIII.	aufserordentlich starker Schlag bis in die Schultern	nicht eine Spur von Gas
No. X. (256) gröfser als in IX.	noch starker Schlag, aber schwächer als in VIII.	keine Spur von Gas

Ein ganz ähnliches Resultat will Ritter noch auf eine andere Weise erhalten haben, indem er sich einer ganz andern Art von Combinationen bediente, die gleichfalls Ladungsphänomene zeigten. Er baute nämlich eine Säule aus 64 Lagen Zink, Kupfer und wassernassen Pappen, je 32 derselben standen sich mit gleichnamigen Polen entgegen und die ganze Säule gab für sich allein durchaus keine Wirkung. Eine andere aus ebensoviel und gleichen Lagen war so gebaut, dafs sogleich auf jede eine Lage eine zweite folgte, die ihr entge-

Digitized by Google

genstand. Sie zeigte für sich ebenfalls keine Wirkung. Erstere Säule heifse α, letztere β. Die Volta'sche Batterie zu diesen Versuchen war die vorige und zwei Tage alt, die Säulen α und β ebenfalls. α und β wurden über einander gesetzt und das obere Ende von α mit dem einen, das untere Ende von β mit dem andern Pole der Batterie verbunden. Nach der Trennung aus dem Kreise erhielt Ritter von α und β zusammen starke Schläge, von α und $\frac{1}{2}\beta$ noch stärkere, von α allein ohne β noch sehr starke, stärkere als alle übrigen, von β allein ohne α etwas schwächere, von $\frac{1}{2}\alpha$, so dafs von 32 Lagen je 16 sich einander entgegenstanden, wieder schwächere Schläge u. s. f., aber in allen diesen Fällen keine Spur von chemischer Wirkung. So viel Auffallendes diese Versuche dem ersten Anscheine nach haben, so verschwindet dasselbe und damit die daraus gezogene Folgerung auf eine wesentliche Verschiedenheit der Ursache der physiologischen und chemischen Wirkungen, wenn man erwägt, dafs die Schläge mehr von der Gröfse der Spannung und einer nur auf kurze Zeit eingeschränkten Entladung abhängen, die chemischen Wirkungen aber nur durch einen continuirlichen und einigermafsen gleichförmigen elektrischen Strom zu Stande kommen, zu dessen Unterhaltung die Bedingungen in einer stärker geladenen Ladungssäule fehlen.

Ritter stellte noch viele andere Versuche mit seinen Ladungssäulen, vorzüglich durch Combination mehrerer zu einer gröfseren, so wie derselben mit einer gewöhnlichen Volta'schen Säule an, in welcher sich die Ladungssäule vollkommen wie eine gewöhnliche Volta'sche Säule verhielt.

Von seinen Beobachtungen über die Rückwirkung einer Ladungssäule auf eine Volta'sche beim Vorgange der Ladung verdient hier die Hauptthatsache erwähnt zu werden, dafs im Augenblicke, wo eine Ladungssäule mit einer Volta'schen Batterie verbunden wird, die Spannung letzterer auf einen Grad herabfällt, der um so niedriger ist, je gröfser die Leitung der Ladungssäule selbst ist, die Spannung dann aber nachmals wieder zu steigen anfängt und endlich bei einem Grade stehn bleibt, der um so mehr vom niedrigsten verschieden ist, je gröfser die Spannung ist, mit welcher die Ladungssäule aus der Verbindung hervorgeht. Ist eine Gasröhre im Verbindungskreise, so ist im Augenblicke der Schliefsung desselben die Gasentwicke-

Digitized by Google

lung stärker als in irgend einem folgenden Augenblicke; von hier an nimmt sie zusehends ab und bleibt endlich bei einem Grade stehn, von dem sie nicht weiter abweicht. Ist dieses, so ist die Säule auf ihr Maximum geladen, und der Grad der Ladung selbst verhält sich wie die Leitung, welche die Ladungssäule nach der Ladung noch fortgewährt.

Von Marianini's Versuchen, die für die Theorie der Ladung von besonderer Wichtigkeit sind, verdienen hier noch folgende angeführt zu werden. Die Ladung oder polare Spannung an den Enden der Säule ist nichts Festes, an den Polen selbst Haftendes, und kann daher mit diesen auch nicht versetzt werden, sondern geht jedesmal aus einer innern Thätigkeit derselben hervor; denn als Marianini bei einer geladenen Säule von 12 Kupferplatten die 6 obersten an die Stelle der untersten und diese an die Stelle von jenen brachte, zeigte sich die Spannung durch den Condensator und das Elektrometer untersucht ganz unverändert.

Dafs die feuchten Pappen der Ladungsäule nicht als die Quellen der Elektricität betrachtet werden können, dafs sie selbst nicht durch eine etwaige chemische Veränderung ihrer Flüssigkeit, die sie im Kreise der Volta'schen Säule erlitten, das eigentliche Agens der elektromotorischen Thätigkeit der Säule seyen, bewies der Versuch, dafs die nassen Tuchscheiben, aus einer geladenen Säule schnell herausgenommen und zwischen frische Kupferplatten gebracht, keine Spur von Wirkung gaben, während, wenn an die Stelle dieser Tuchscheiben andere mit Salzwasser befeuchtete eingeschoben wurden, die Spannung sich nur um so viel vermindert zeigte, als im Verhältnisse der Zeit zu erwarten war.

Um auch den Zweifel zu beseitigen, dafs etwa eine dünne Schicht Flüssigkeit, die an den Kupferplatten hängen geblieben war, hierbei mitgewirkt habe, wurden die Metallplatten, ehe die neuen Tuchscheiben dazwischen gelegt wurden, mit einem nassen Tuche abgerieben, dennoch zeigte sich noch die el. Ladung, derselbe Erfolg fand sogar statt, als die Metallplatten noch aufserdem abgetrocknet wurden, ja sogar, als solche abgeriebene Platten längere Zeit vor aller Feuchtigkeit der Luft wohl verwahrt waren, konnte Marianini nach längerer Zeit eine neue wirksame Säule mit ihnen erbauen, wenn er sie mit frischen Tuchscheiben schichtete. Mit gleichem

Digitized by Google

Erfolge stellte MARIANINI solche Versuche mit Becherapparaten an. Wurden die Kupferplatten aus ihren Bechern, in welchen je ein Paar, das durch einen Bügel zusammenhing, die Verbindung von einem Becher zum andern machte, herausgenommen und in andere gehängt, so zeigten die Enden gleichfalls polare Spannung, doch mufs man sich hüten, die Platten nicht tiefer als in die vorigen Becher hineinzuhängen, weil sonst die geladene Hälfte der Platte mit der ungeladenen eine partielle geschlossene Kette bildet, wodurch die polare Spannung sehr geschwächt oder ganz aufgehoben wird.

C. Die Theorie.

Die richtige Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule hängt auf das Innigste mit der genaueren Kenntnifs des Vorganges der Ladung der einzelnen Metalle in Form von Streifen oder Drähten im Kreise der Volta'schen Säule zusammen. Indessen hat man diesen Weg im Anfange nicht eingeschlagen, selbst RITTER nicht, der doch von da aus zur Ladungssäule gelangt war. Wenn man die etwas künstliche Darstellung RITTER's genau erwägt, so ergiebt sich deutlich, dafs er in der Ladungssäule eine Ladung im engern Sinne annimmt, nach Art der Ladung einer el. Batterie oder Flasche durch eine gewöhnliche Elektrisirmaschine, und das Räthsel, dafs hier an so guten Leitern eine Ladung auftritt, glaubt er durch den allgemeinen Begriff von Ladung erklärt zu haben, die jedesmal dann eintrete, wenn aus irgend einer Quelle von Elektricität dieselbe so reichlich zuströmt, dafs bei dem Momente von Isolation, das auch bei den besten Leitern noch in Betracht kommt, nicht alles ebenso schnell abgeleitet werden kann, als es zugeleitet wird, wo dann der nicht abgeleitete Ueberschufs die eigentliche Ladung ausmacht. Nach RITTER soll also der *Leitungswiderstand*, der durch die Abwechselung der Metallplatten mit den feuchten Scheiben hervorgebracht wird, die eigentliche Bedingung der Ladung seyn und eben deswegen die Ladung zunehmen, einerseits durch Vergröfserung des Leitungswiderstandes in Folge der Vervielfältigung der Abwechselungen der Metallplatten mit den feuchten Leitern, andererseits durch Verstärkung des elektrischen Stromes von Seiten der Volta'schen Säule, wodurch nothwendig

Digitized by Google

der Ueberschufs dessen, was nicht fortgeleitet wird und was also zur Ladung verwendet wird, zunehmen mufs. Es ist ganz klar, dafs Ritter den ganzen Vorrath von Elektricität, durch welchen die Ladungssäule nachher ihre Wirkungen hervorbringt, als von der ursprünglichen Säule ausgegangen ansehe; dieses ergiebt sich besonders auch daraus, dafs er die Ladung dann als vollkommen geschehn betrachtet, wenn die Ladungssäule ebensoviel fortleitet, als von der Volta'schen Säule zugeführt wird, welcher Zeitpunct daran erkennbar ist, dafs in einer mit in den Kreis gebrachten Gasröhre die Abnahme der Gasentwickelung nun nicht weiter mehr fortschreitet, sondern gleichförmig geworden ist. Ebendiese Ansicht Ritter's ergiebt sich noch daraus, dafs er den Begriff von Capacität hier anwendbar findet und nach dem Producte von dieser in die erhaltene Spannung die Gröfse der Ladung bestimmt, wobei er freilich sich nicht genauer darüber erklärt, von welchen Umständen die Gröfse dieser Capacität abhänge. Die Ladung selbst soll nach ihm an den Metallplatten selbst haften und nicht an den feuchten Pappen, die nur die Bedingung sind, dafs es zur Ladung kommen kann; die feuchten Leiter sollen der Entladung so wenig nützen, dafs sie vielmehr dieselbe aufserordentlich vermindern, und es komme nur darauf an, nach geschehener Ladung blofs auf irgend eine Weise den feuchten Leiter aus dem Apparate entfernen und alle getrennten Metallplatten in unmittelbare Contiguität zu versetzen, um die Entladungsgröfse des Ganzen um ein sehr Vielfaches zu erhöhn. Diese Theorie, die man, wenn man nicht etwa den Ausdrücken Ritter's einen ganz andern als den gebräuchlichen Sinn beilegen will, nicht anders auffassen kann, als sie hier dargestellt ist, hat nun Marianini durch viele Versuche bestritten und als Haupteinwurf geltend gemacht, dafs bei Zunahme des Leitungswiderstandes in der Ladungssäule, also bei Verlangsamung des elektrischen Stromes durch dieselbe die Ladung vielmehr geringer ausfalle, wenn man nämlich stets dieselbe Flüssigkeit nimmt. Besonders scheint uns aber in dem Versuche Marianini's, dafs bei schneller Umbauung der Säule, indem man die obersten zu den untersten macht und umgekehrt die untersten zu den obersten, doch so, dafs die verschiedenen Flächen ihre relative Lage unverändert behalten, in der Ladung und der Vertheil-

Digitized by Google

lung der Pole nicht das Geringste verändert wird, ein entscheidender Beweis gegen eine gleichsam entstandene fixirte Ladung zu sprechen, wie sie Ritter annimmt. Eine ebenso unhaltbare Theorie der Ladung hat Volta selbst aufgestellt, indem er sie auf eine sogenannte Säule zweiter Art, die aus zwei feuchten und einem festen Leiter besteht, zurückzuführen versucht hat. Durch den elektrischen Strom der primären Säule soll nämlich eine Zersetzung des flüssigen Leiters bewirkt werden, eine alkalische Flüssigkeit an der einen Fläche der Metall-(Kupfer-) Platte, eine saure an der andern Fläche sich ansammeln, wodurch, nachdem die Ladungssäule aus dem Kreise der Volta'schen Säule herausgetreten ist, nothwendig bei Schliefsung der Ladungssäule ein dem vorigen Strome entgegengesetzter hervorgebracht werden müsse. Durch eben diesen Strom werden aber die alkalische und saure Flüssigkeit zu einer entgegengesetzten Vertheilung getrieben werden und eben damit die Ursache des elektrischen Stroms und dieser mit ihr schnell abnehmen und auf 0 herabsinken. Auch die ungeschlossene Säule müfste so scheinbar nach innen sich entladen, weil die getrennten Flüssigkeiten, die durch den elektrischen Strom nicht mehr getrennt gehalten werden, sich allmälig wieder zur Neutralität vereinigen müfsten. Da auch bei der Anwendung des destillirten Wassers eine schwache Säure (Salpetersäure) und Ammoniak gebildet werden, so liegt in diesen der Grund der Bildung einer Säule zweiter Art, die aber sehr schwach seyn mufs, da nur geringe Spuren von diesen Flüssigkeiten sich bilden. Diese Erklärung wird aber durch den einzigen Versuch vollkommen über den Haufen geworfen, dafs die herausgenommenen, wohl abgewaschenen und getrocknet zwischen ganz frische Pappen gelegten Metallscheiben in der Hauptsache dieselben Erscheinungen zeigen, wie wenn sie sich noch zwischen ihren ersten feuchten Leitern befänden. In den Metallplatten selbst ist also die wahre Ursache der Erscheinungen zu suchen, und Marianini hat von dieser Seite das Phänomen vollkommen richtig aufgefafst, indem er jede einzelne Metallplatte als das Aequivalent zweier Elektromotoren betrachtet, deren entgegengesetzte Oberflächen sich gegen einander wie ein positives und negatives Metall verhalten, wodurch dann die Ladungssäule selbst als eine gewöhnliche Volta'sche Säule erscheint. Die eine Oberfläche,

Digitized by Google

in welche die Elektricität einströmt (oder gegen welche bei der Annahme zweier el. Ströme der positive Strom gerichtet ist), an welcher folglich der Wasserstoff auftritt, hat sich dem positiven Ende der Spannungsreihe, die andere Oberfläche, aus welcher die Elektricität austritt (gegen welche der negative Strom gerichtet ist), an welcher der Sauerstoff und die Oxydation auftritt, hat sich dem negativen Ende der Spannungsreihe mehr genähert, und das vorher homogene Metall-Continuum hat sich demnach in zwei heterogene Metalle getrennt, stellt ein Plattenpaar dar, und es folgt aus der Art der Vertheilung dieser Veränderung nothwendig, dafs bei der Schliefsung der Ladungssäule der elektrische Strom eine entgegengesetzte Richtung von derjenigen haben mufs, durch welche die Säule geladen wurde. Alle Erscheinungen, welche die Ladungssäule darbietet, erklären sich nun sehr ungezwungen von selbst, und man begreift leicht, warum durch die Schliefsung die Säule sehr bald ihre Wirksamkeit verlieren mufs, weil der entgegengesetzte Strom dieselbe Veränderung dann in entgegengesetzter Richtung hervorbringen, d. h. die vorige Beschaffenheit der Metallplatten herstellen mufs, womit die Ladung aufhört. Schwieriger ist die Erklärung der allmäligen Abnahme und des baldigen gänzlichen Verschwindens aller Thätigkeit der Ladungssäule, auch wenn sie nicht geschlossen wird und selbst, auf das sorgfältigste mit Firnifs umgeben, gegen die Einwirkung der Luft auf das vollkommenste geschützt ist. Die Erklärung dieser Selbstentladung hängt auf das genaueste mit der Einsicht in das wahre Wesen der Veränderung, welche die Metalle in Folge des Durchgangs des elektrischen Stromes erleiden, zusammen, eine Veränderung, welche bis jetzt noch nicht gehörig aufgeklärt ist. Als nächster Erklärungsgrund bietet sich eine entgegengesetzte chemische Veränderung, welche die Metalle an ihren entgegengesetzten Oberflächen erleiden, dar, welche übereinstimmend ist mit der entgegengesetzten Veränderung, welche einerlei Metallstreifen, wenn der eine als Leiter des positiven, der andere als Leiter des negativen Pols dient, erleiden, worauf wir schon oben aufmerksam gemacht haben. Wirklich hat auch schon Brugnatelli [1] aus dieser Veränderung die Thätigkeit

1 G. XXII. 202.

Digitized by Google

der secundären Säule abgeleitet und als entscheidenden Beweis dafür den Umstand angeführt, dafs gerade diejenigen Elektromotoren, welche sich zur Erbauung einer secundären Säule am geeignetsten zeigen, als Kohle, Gold und Silber, auch diejenigen sind, welche da, wo sie mit negativer Polarität auftreten, eine sehr auffallende Veränderung erleiden, nämlich sich hydrogenisiren, und das gebildete Hydrür, welches, wie sich Brugnatelli überzeugte, ein sehr vollkommener Leiter der Elektricität ist, als sehr wirksamer positiver Elektromotor gegen den andern Draht oder die entgegengesetzte Oberfläche, welche diese Veränderung nicht erlitten hat, auftritt. Brugnatelli führt namentlich von der Kohle an, dafs sie als Leiter des negativen Pols ausbleiche in Folge des Wasserstoffs, der sich nicht als Gas an ihr entwickele, sondern sich mit derselben verbinde. Am Graubraunsteinerz habe ich selbst eine analoge Veränderung wahrgenommen, indem sich an derjenigen Stelle, welche als Leiter des negativen Pols dient, kein Gas entwickelt und sich braune Flecken dendritisch anlegen. An Gold und Silber bildet das Hydrür einen deutlich schwarzen Ueberzug. Man würde diesemnach begreifen, warum gerade diese nach dem negativen Ende der Spannungsreihe hin gelegenen Elektromotoren zu den Ladungsphänomenen vorzüglich geschickt sind, dagegen die mehr positiven Metalle schwache und das Zink so gut wie gar keine Wirkung geben, weil diese sich mit dem Hydrogen nicht verbinden und die Oxydschicht, die sich an der positiven Seite bildet, wegen ihrer isolirenden Eigenschaft in den elektromotorischen Processs nicht eingehn kann. Solche Hydrogenschichten, auch wenn sie nur höchst oberflächlich sind, gleichsam nur einen Hauch bilden, können doch schon vollkommen hinreichen, da es ja bekannt ist, dafs kleine Veränderungen in der Glätte der Oberfläche der Metalle ihren elektromotorischen Werth schon verändern, und Platin nebst Kupfer könnten immerhin eine solche oberflächliche Veränderung durch Hydrogenisirung erlitten haben, wenn sie gleich an diesen Metallen äufserlich nicht in die Augen fällt. Allein diese Erklärung reicht nicht mehr in allen Fällen aus, seitdem De la Rive und Pfaff gezeigt haben, dafs die Ladungsveränderung sich nicht blofs auf diejenige Metalloberfläche einschränkt, welche mit der Flüssigkeit in Berührung gestanden

Digitized by Google

und möglicher Weise eine chemische Veränderung erlitten haben könnte, sondern sich auf denjenigen Theil des Metalls erstreckt, welcher dem elektrischen Strome als Leiter diente. Ebendieses hat De la Rive bewogen, die ganze Erscheinung auf einen eigenthümlichen Zustand zu beziehn, den er den elektrodynamischen nennt, indem er annimmt, dafs durch das Durchströmen der Elektricität durch feste Leiter das elektrische Gleichgewicht in denselben in der Richtung dieses Stromes gestört werde, wodurch dann, sobald die Ursache dieser Störung zu wirken aufhöre, ein entgegengesetzter Strom veranlafst werden müsse, sofern dieses Gleichgewicht sich nach der entgegengesetzten Richtung wieder herstellen müsse.

„Ich nehme an" sagt De la Rive[1], „dafs der in einem Leiter erregte elektrische Strom nichts anderes sey, als eine Folge von raschen Zersetzungen und Wiederherstellungen der feinen Theilchen eigenthümlicher Elektricität. Um nun zu begreifen, wie in einem Metallstreifen, Drahte u. s. w., der z. B. mit dem positiven Pole in Verbindung stand, die Elektricität frei werde, betrachten wir nur eine Reihe von Theilchen, da für alle übrige dasselbe gilt. Das Theilchen a, welches unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung steht, ist + auf Seiten der Flüssigkeit und — auf Seiten des folgenden Theilchens, das Theilchen b ist + gegen das — des Theilchens a und — auf Seiten des folgenden Theilchens c, und so fort. Das + des Theilchens a wird neutralisirt vom — des zersetzten flüssigen Theilchens, das + des Theilchens b vom — des Theilchens a u. s. w. Ich nehme den Draht heraus; er befindet sich dann in einem Zustande, der in Bezug auf die Elektricität demjenigen ziemlich ähnlich ist, den man nach der Coulomb'schen Theorie im Stahle hinsichtlich des Magnetismus annimmt. Sein positives Ende ist nicht mehr durch das negative Element der Flüssigkeit neutralisirt und kann sich nicht vereinigen mit dem — desselben Theilchens a, welches von dem + des Theilchens b zurückgehalten wird, wenigstens wenn man, wie beim Magnet, eine Art von Coërcitivkraft annimmt. Der am negativen Ende der Säule befestigte Draht befindet sich in einem ähnlichen Zustande, nur wird hier das — durch das + und das + durch das — ersetzt.

1 Poggendorff's Ann. X. 431.

Digitized by Google

Verbinde ich die so elektrisirten Drähte entweder unter sich oder mit einem andern Leiter mittelst des Multiplicators, so wird jedes Theilchen sich wieder in seinen natürlichen el. Zustand versetzen können und sein + durch sein eigenes — und nicht durch das — des folgenden neutralisiren. Diese Wiederherstellung wird zu einem Strome von entgegengesetzter Richtung Veranlassung geben, wie der, welcher die Drähte elektrisirte. Denn dieser geht in jedem Theilchen vom — zum +, d. h. in der Richtung, in welcher die + fortgeführt werden, wie es der obere Pfeil anzeigt, der andere, welcher die Wiederherstellung bewirkt, geht ebenfalls in der Richtung, in der die + fortgeführt werden, wie es der untere Pfeil andeutet. Es ist daher nicht wunderbar, dafs der von den Drähten entwickelte Strom, dem Versuche gemäfs, in seiner Richtung dem Strome entgegengesetzt ist, welcher ihnen von dem elektrodynamischen Vermögen eingeprägt wird." Die Nothwendigkeit der Mitwirkung des flüssigen Leiters sucht De la Rive auf folgende Weise zu erklären: „Wenn die Leiter, welche zu zweien die vier Enden verbinden, beide metallischer Art sind, so ist kein Grund vorhanden, weshalb das Gleichgewicht sich in der einen Richtung mehr als in der andern wieder herstellen sollte, während, wenn einer der Leiter ein flüssiger ist, seine Gegenwart, indem sie die Kette schliefst (eine nothwendige Bedingung zu der Wiederherstellung), nicht hindert, dafs der Strom mit gröfserer Leichtigkeit durch den metallischen Leiter geht und den Drähten erlaubt, sich zu entladen und auf ihren natürlichen Zustand zurückzukommen." Fig. 22.

Diese Erklärung bringt die elektrische Ladung unter einerlei Schema mit der Art der Vertheilung der magnetischen Polaritäten in einem Magnete, gemäfs der Coulomb'schen Ansicht, und diese Analogie glaubt De la Rive besonders durch die schon oben erwähnte Beobachtung an einem Platindrahte bestätigt, der für sich allein beide elektrische Pole zeigt, wenn er das Verbindungsglied zwischen zwei Flüssigkeiten gebildet hat, in deren jede einer der Polardrähte einer Volta'schen Säule getaucht war, und der in zwei Hälften getheilt abermals an beiden Enden jeder einzelnen Hälfte entgegengesetzte Pole zeigt. Von jener Coërcitivkraft, die auch die besten Leiter noch haben, hängt es auch ab, dafs einige Zeit erforderlich ist, bis

Digitized by Google

die Drähte ihr Maximum von Ladung erhalten und dafs diese selbst mehr oder weniger lange dauert. Wenn man nun auch der Idee De la Rive's von dem Vorgange der Leitung beistimmt, wenn man ferner auch begreift, warum die Wiederherstellung des elektrischen Gleichgewichts nach geschehener Ladung nur durch einen Strom in entgegengesetzter Richtung geschehen kann, so ist die Nothwendigkeit der Bedingung der Schliefsung der Kette durch einen flüssigen Leiter durchaus nicht nachgewiesen, sondern nur postulirt, man sollte vielmehr erwarten, dafs, wenn jeder der geladenen Drähte mit dem einen Ende mit dem Multiplicator verbunden ist, dieser jene Wiederherstellung des Gleichgewichts nur um so schneller vermitteln würde; allein bei dieser halben Schliefsung zeigt sich auch nicht die leiseste Spur eines el. Stromes, die Magnetnadel wird nicht im geringsten afficirt.

Wenn De la Rive diese Art der Reaction der Metalle, nachdem sie aus dem Kreise der primären Säule getreten sind, durch welche ihnen gleichsam ihr neuer Zustand aufgezwungen worden ist, durch Anknüpfung an bekannte Phänomene und durch eine wirkliche Construction des Vorganges begreiflich zu machen gesucht hat, so hat dagegen Pohl [1] diese Reaction der Metalle ganz willkürlich auf eine Kraft derselben zurückgeführt, die in nichts von dem sich unterscheidet, was man in der Physik eine *Qualitas occulta* nennt. Ihm zufolge soll nämlich der Zustand, in welchen die Metalle in der Ladungssäule (oder in der einfachen Ladungskette) während ihrer Verbindung mit den Polen der Volta'schen Säule versetzt werden, ein *gezwungener* seyn, aus welchem sie sich durch eine schon mit ihrer metallischen Natur gegebene Reactionskraft wieder in ihren vorigen Zustand zurückzuversetzen suchen, eine Kraft, die sogleich thätig wird, sowie der *äufsere Zwang* aufhört, und welche sie alsdann sogar den natürlichen Zustand nach einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung überschreiten macht, sowie eine Saite, die sich wieder herstellt, über die ursprüngliche gerade Richtung hinausgeht. Soll diese Analogie hier gelten, so müfste die Ladungssäule gerade

1 Ueber die Phänomene der sogenannten elektrischen Ladung in Kastner's Archiv VI. 385. und in der Schrift: Der Procefs der galvanischen Kette. S. 142.

Digitized by Google

so, wie die Saite, dann aber auch wieder, nachdem sie über ihren natürlichen Zustand hinausgegangen, zu diesem nicht blofs zurückkehren, sondern abermals über diesen hinaus, aber in ihren frühern *sogenannten gezwungenen* Zustand, zurückkehren und auf diese Weise nur durch Oscillationen zwischen abwechselnden Polaritäten ihren natürlichen Zustand erreichen. Nichts dergleichen hat man bis jetzt bei der Ladungssäule beobachtet, ihre Polarität nimmt vielmehr stufenweise ab, zeigt kein Fallen und Steigen, noch viel weniger eine Umkehrung. Und was hat man an dieser Reactionskraft im Grunde mehr gewonnen, als einen andern Ausdruck für die reine Thatsache? Man erinnert sich dabei unwillkürlich an die Warnung Haller's, doch nicht über das natürliche Kleid der Dinge, an welchem sich unser Auge stöfst, noch ein neues zu ziehn, an welchem sich unsere Einbildungskraft stöfst, noch ehe das Auge bis zu jenem undurchschaubaren hindurchgedrungen ist.

Wir gestehn aufrichtig, dafs wir selbst uns bis jetzt nicht im Stande fühlen, eine ganz befriedigende Erklärung der Ladungserscheinung zu geben. Soviel halten wir für ausgemacht, dafs eigentliche chemische Veränderungen der Metalle hier nicht in Anspruch genommen werden können, wenn sie gleich in andern Fällen zu ähnlichen Erscheinungen Veranlassung geben. Die Elektricität selbst mufs hier als die nächste Ursache der Veränderung des elektromotorischen Werthes der Metalle angesehn werden, nicht jene, welche sich mit freier Spannung an der Oberfläche der Leiter thätig zeigt, sondern jene, welche gleichsam tiefer in das Innere eingedrungen ist und eine neue elektrische Begeistung der kleinsten Theilchen bedingt. Dafs der elektrische Strom der Säule bei seinem Durchgange durch Leiter die Masse derselben wirklich in Anspruch nimmt, nicht blofs an ihrer Oberfläche fortgeleitet wird, sondern ins Innerste eindringt, ist besonders durch H. Davy's Versuche[1] aufser allen Zweifel gesetzt worden. Durch dieses Eindringen ist ohne Zweifel die Veränderung bedingt, welche wir Ladung nennen. Sie scheint den elektromotorischen Charakter, nach dem Gegensatze der Elektricitäten, von welchen sie abhängt, auf eine entgegengesetzte Weise zu bestimmen und durch das coërcitive Moment eine Zeit lang in den Me-

1 Phil. Trans. 1821. P. II. p. 434.

tallen festgehalten zu werden. Darum ist es aber nicht etwa eine Anhäufung von relativ gebundener Elektricität, die sich dann wieder allmälig entladet, welche die Thätigkeit der Ladungssäule als nächste Ursache bestimmt, sondern nur als entfernte, insofern der elektromotorische Charakter dadurch bestimmt wird, und eben darum sind alle übrige Bedingungen zum elektrischen Strome auch hier erforderlich, wie bei der gewöhnlichen galvanischen Kette, nämlich Schliefsung durch einen Leiter der zweiten Classe.

Dafs dieser so merkwürdige Ladungsprocefs auch auf die Erscheinungen einer gewöhnlichen Volta'schen Säule seinen Einfluſs äufsern müsse, ist einleuchtend, und die Erfahrung bestätigt es vollkommen. So wie durch Schliefsung einer Volta'schen Säule der elektrische Strom eingeleitet wird, wirkt die beginnende Ladung entgegen, das negative Metall nimmt einen mehr positiven, das positive einen mehr negativen Charakter an und die Wirksamkeit der Säule mufs eben damit geschwächt werden. Wird die Säule dann geöffnet, so verschwindet in kurzer Zeit die erfolgte Ladung durch eine Selbstentladung nach Innen, die Säule erholt sich gleichsam wieder und bei neuer Schliefsung wirkt sie mit der frühern Kraft.

Dafs die Interpolation von negativen Metallen (Gold, Silber) zwischen die flüssigen Leiter den elektrischen Strom einer Volta'schen Säule in einem viel höhern Grade schwächt, als die Interpolation von mehr positiven Metallen (Blei, Zink), wovon schon im Artikel *Galvanismus* S. 817 und S. 972 die Rede gewesen ist, hängt übrigens mit dem Phänomene der Ladung auf das genaueste zusammen.

Ritter's sanguinische Hoffnung, durch die Ladungssäulen die galvanischen Wirkungen ebenso verstärken zu können, wie man die Wirkungen der gewöhnlichen Elektricität durch die elektrischen Batterieen verstärkt hat, ist nicht in Erfüllung gegangen. Man kann ihre Spannung nie so weit treiben, als die Spannung der Volta'schen Säule, und die Ladung und davon abhängige Thätigkeit ist nur sehr vorübergehend. So ist die Ladungssäule nur für die Theorie von Interesse geblieben.

Digitized by Google

III. Trockene, sogenannte Zamboni'sche Säule.

Mehr als eine Rücksicht mufste die Physiker bei dem grofsen Interesse, welches die wichtigste Erfindung unsers Jahrhunderts, die der Volta'schen Säule einflöfste, in ihren unverdrossenen Experimental-Untersuchungen über dieselbe zur Auffindung einer im strengen Sinne *trockenen* Säule, aus welcher alle Feuchtigkeit und mit dieser auch der chemische Proceſs ausgeschlossen wäre, antreiben. Eine solche Säule, einmal gefunden, schlichtete auf eine peremtorische Weise den theoretischen Streit, der mit der ersten Bekanntwerdung der Säule sich auch entsponnen hatte, den Streit über die eigentliche Quelle und erregende Ursache jenes so mächtigen elektrischen Stromes der Säule, ob nämlich, wie Volta zuerst gelehrt hatte, die bloſse elektromotorische Kraft der Metalle ohne andere Mitwirkung durch Störung des *natürlichen Gleichgewichts* der *Elektricität* die Ursache der polaren Trennung und Anhäufung der Elektricität und damit bei der Schlieſsung der Kette des Stromes selbst sey, auf dessen Schnelligkeit der feuchte Zwischenleiter nur durch seinen verschiedenen Leitungswiderstand einwirke, oder ob nicht vielmehr der feuchte Leiter, sofern er als ein ganz unentbehrliches Glied zur Construction einer wirksamen Säule angesehn wurde, durch den von ihm abhängigen chemischen Proceſs und zwar insbesondere durch Oxydation des einen Metalls die Elektricität erst errege, oder ob wenigstens dieser chemische Proceſs, wenn auch nicht die einzige, doch eine nothwendig mit vorhanden seyn müssende Ursache des eigentlichen Stromes sey. Dann versprach aber auch der Fund einer wahrhaft trockenen Säule sehr grofse Vortheile vor der gewöhnlichen nassen Säule. Diese zerstört sich selbst und ihre Wirksamkeit durch eben jenen chemischen Proceſs, welcher, mag er Ursache oder Wirkung seyn, unzertrennlich von jener Wirksamkeit ist. Um nasse Säulen in gehöriger Energie zu erhalten, müssen sie stets wieder nach einiger Zeit auseinander genommen, die Metalle gereinigt, die Zwischenlagen erneuert werden, was besonders bei mächtigen Säulen ein höchst mühseliges Geschäft ist und am Ende doch zur Zerstörung der Säule führt. Wahrhaft

Digitized by Google

trockene Säulen, wenn sie gefunden werden konnten, versprachen eine unvergängliche Thätigkeit, aller jener Mühe durfte man dann hoffen überhoben zu seyn, und zugleich eröffnete sich die Aussicht zu einer leichtern Vergrößerung der Säulen fast ins Ungemessene und zur Darstellung von Resultaten, die in theoretischer wie in praktischer Hinsicht gleich wichtig seyn mufsten.

Nach allen diesen Rücksichten kann es daher nicht überraschen, dafs gleich von Anfang an die Bemühungen einzelner Physiker auf diesen Gegenstand gerichtet waren, und es mufs vielmehr in Verwunderung setzen, dafs diese ersten Bemühungen theils gar nicht beachtet wurden, theils wieder in Vergessenheit geriethen, bis nach einem längeren Stillstande den Forschungen der Physiker in dieser Richtung ein neuer Impuls gegeben wurde und die Federn der Gelehrten, so wie die Hände der Künstler, eine vielfache Beschäftigung erhielten, bis gröfsere Entdeckungen auch diesen Gegenstand wieder in den Hintergrund brachten.

A. Das Historische.

Die ersten Bemühungen in der angezeigten Hinsicht verdanken wir dem unermüdlichen Ritter. Schon im Februar 1802 errichtete er Säulen, die man als die ersten trockenen betrachten kann, indem er als Zwischenleiter zwischen den Plattenpaaren aus Zink und Kupfer statt der nassen Pappe Scheiben von *Schafleder*, *Wachstuch*, auch *dünne Glasplatten* versuchte. Die Zahl der Abwechselungen war 600. Er erkannte schon ganz richtig die Eigenthümlichkeit der sogenannten trockenen Säule, zeigte aber auch bereits durch vergleichende Versuche, dafs sie ihre Wirksamkeit nur hygrometrischer Feuchtigkeit verdanke, indem bei möglichster Austrocknung ihrer Zwischenleiter alle Wirkung derselben ausblieb[1]. Ungefähr gleichzeitig mit Ritter versuchten die französischen Physiker Hachette und Desormes[2] verschiedene trockene Substanzen

1 Diese Versuche wurden von ihm in No. 66. des Reichsanzeigers vom Jahre 1802 bekannt gemacht, wieder abgedruckt in seinen phys. chem. Abhandl. II. S. 270. Vgl. eine Notiz von denselben im Novemberheft des Intelligenzblattes der Allgem. Lit.-Zeit. vom Jahre 1803.

2 G. XVIII. 109. *fg.*

Digitized by Google

als Zwischenleiter in der Volta'schen Säule und fanden Kraftmehl theils für sich, theils mit Salzen vermischt, vorzüglich dazu geeignet. Damals suchte auch Allizeau[1] denselben Zweck (Verhinderung der Oxydation der Metalle und Unwandelbarkeit der Säule in ihrer Wirkung) dadurch zu erreichen, dafs er das Metallplattenpaar zusammenlöthete, in einen starken überfirnifsten Metallring fafste und auf die Zinkseite einen Ring von Fayence oder Porzellan kittete, in welchen grobes Kochsalz mit etwas Wasser befeuchtet als Zwischenleiter gebracht wurde. Diese Säule, wenn gleich den mit ihr angestellten Versuchen zufolge ihre Wirksamkeit Wochen hindurch sich so gut wie ungeschwächt erhielt, kann indefs nicht eigentlich unter die Kategorie der trockenen Säulen gebracht werden. Dagegen gehört allerdings hierher die von Biot[2] bei Gelegenheit seiner Untersuchung über den Antheil der Oxydation an der Elektricitätserregung in der Säule in Anwendung gebrachte Säule aus Scheiben von geschmolzenem Salpeter als Zwischenleiter, die wenigstens von theoretischem Interesse war.

Einen Schritt weiter zur bequemen Construction trockener Säulen that Behrens[3], dessen schon im Jahre 1802 und 1803 angestellte Versuche im Jahre 1806 bekannt gemacht wurden. Er fand durch Hitze so viel als möglich ausgetrockneten *Feuerstein* als Zwischenleiter ebenso wirksam, wie feuchte Pappe, was aber noch wichtiger war, er wandte zuerst gewöhnliches unächtes Goldpapier (auf der einen Seite mit einer dünnen Schicht Kupfer belegt) mit Zink zur Errichtung von Säulen an, in welchen das Goldpapier zugleich die Stelle des Kupfers und des feuchten Zwischenleiters vertrat, und bestimmte schon sehr genau alle elektroskopischen Verhältnisse einer solchen Säule. Gleichzeitig mit den Versuchen von Behrens wurden die auf denselben Zweck gerichteten von Marechaux angestellt[4]. Als Zwischenleiter der Plattenpaare von Zink und Messing wandte er Scheiben von trockener Pappe an, substituirte auch in einer solchen Säule dem Messing das

1 Allizeau's galvanische Säule u. s. w. G. XVIII. 109.
2 G. XV. 90. XVIII. 129.
3 G. XXIII. 2. 4.
4 G. XXII. 313. 318.

Digitized by Google

Reifsblei und glaubte besonders an solchen Säulen eine ganz eigenthümliche elektrische Ebbe und Fluth beobachtet zu haben. Erman [1] prüfte damals diese mit dem ihm eigentlichen Scharfsinne und zeigte schon damals durch entscheidende Versuche, dafs diese vermeintlich trockenen Säulen ihre Wirksamkeit einzig einem Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit verdanken und die Fluctuationen in ihrer Wirksamkeit wohl nur allein von dem Wechsel dieser hygrometrischen Feuchtigkeit abhängig seyn möchten.

Eine besondere Aufmerksamkeit widmete vom Jahre 1808 bis 1810 J. A. de Lüc [2] den trockenen Säulen, in denen als das eine Element unächtes *Goldpapier* diente, auf dessen Anwendung er von selbst, ohne von Behrens Arbeiten etwas zu wissen, gekommen zu seyn scheint. Durch Vereinigung mehrerer solcher Säulen, nämlich einer horizontalen von 600 Paaren Zink und unächtem Goldpapier von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, einer verticalen Säule von 300 Paaren viereckiger Platten Zink und Goldpapier von $\frac{1}{4}$ Zoll Seite und einer Säule von 700 Platten Weifsblech und Goldpapier brachte er einen so wirksamen Apparat zu Stande, dafs dadurch eine kleine, an einem Faden hängende Kugel in fortdauernde schwingende Bewegungen zwischen zwei Kugeln, die mit den entgegengesetzten Polen der Säule verbunden waren, versetzt wurde, an welcher Säule er ein neues meteorologisches Instrument zur Ausmittelung der Elektricität der Luft und des Erdbodens gewonnen zu haben glaubte. Während de Lüc im April und Mai 1810 mit seinen Beobachtungen an dieser Säule zu Windsor beschäftigt war, hatte Forster zu Waldhamstow unweit London aus drei rosenkranzartigen Säulen (die Zink- und Goldscheiben waren ähnlich nach de Lüc's erstem Verfahren auf seidenen Schnüren nach Art eines Rosenkranzes aufgereiht worden) eine Säule von 2500 Plattenpaaren zu Stande gebracht, wodurch eine kleine Metallkugel in Bewegung gesetzt wurde, welche zwischen zwei isolirten, mit den Polen der Säule verbundenen Glocken hing, und dieses kleine Glockenspiel kam zum erstenmal am 25. März 1810 zum Tönen.

---

1 Ueber die Periodicität des Galvanismus. G. XXV. 1.

2 Eine trockene elektrische Säule und ein atmosphärisches Elektroskop. G. XLIX. 100 fg.

Digitized by Google

Diese Versuche wurden indefs in Deutschland nicht gehörig bekannt, denn aus dieser Zeit finde ich in deutschen Journalen nur einen einzigen Aufsatz, der sich auf DE LÜC's Versuche bezog und sie einer Prüfung unterwarf, nämlich von SCHÜBLER[1], und erst mehrere Jahre später, 1814, kam von Italien aus der neue Impuls zur Beschäftigung mit den sogenannten trockenen Säulen. Durch DE LÜC's Arbeiten war nämlich der Abbate ZAMBONI, Professor der Physik am Lyceum zu Verona, veranlafst worden, sich mit trockenen Säulen zu beschäftigen. In Brugnatelli's Giornale di Fisica, Chimica etc., und zwar im Decemberhefte von 1812, erschien seine Dissertazione sulla Pila elettrica a secco, und als Fortsetzung derselben im Januarhefte 1813. p. 31 — 43. Descrizione della Colonna elettrica del Signore de Lüc. Als nach der Zertrümmerung des Königreichs Italien der Vicekönig Prinz EUGEN München zu seinem Aufenthalte nahm, wurde ZAMBONI's trockene Säule von dem Ritter ASSALINI, Dr. Med. und Professor der Chirurgie, der Münchener Akademie den 14. Juni 1814 vorgezeigt[2], von welchem auch damals in einem gedruckten einzelnen Bogen eine Beschreibung und Abbildung der Zamboni'schen Säule im Druck erschien. Nach diesem Muster verbreiteten sich bald die trockenen Säulen in Deutschland, der Schweiz und Frankreich und wurden ein Gegenstand der sorgfältigsten Untersuchungen. Vorzüglich beschäftigte sich damit der früher schon um die Lehre vom Galvanismus hochverdiente Leibmedicus JAEGER in Stuttgart und verfafste eine Reihe von Aufsätzen, die vorzüglich bestimmt waren, die Theorie derselben aufzuklären[3]. Nächst ihm erwarben sich vorzügliche Verdienste um die genauere Erforschung der Erscheinungen der trockenen Säule der Professor BOHNENBERGER in Tübingen[4] und PARROT in Dorpat[5], der vorzüglich die Nothwendigkeit eines chemischen Processes zur

1 Schweigger's Journal VII.

2 Vgl. Dr. RUHLAND's Nachricht über die Zamboni'sche Säule in Schweigger's Journ. XI. 16. und einige historische Nachrichten von der trockenen el. Säule von de Lüc und Zamboni in G. XLIX. 85.

3 G. XLIX. 47. LI. 87. LII. LV. 369. LXII. 227.

4 Tübinger Blätter für Naturwissenschaft und Arzneikunde. Bd. II. und im Auszuge in G. LIII. 316.

5 G. LV. 163.

Digitized by Google

Unterhaltung der Thätigkeit einer Zamboni'schen Säule nachzuweisen suchte.

Als meteorologisches Instrument, nämlich als ein neues Luftelektrometer, wozu DE LÜC die trockene Säule vorgeschlagen, wurde sie in ihrer etwas veränderten Gestalt von neuem durch SCHÜBLER[1] geprüft. Auch PLACIDUS HEINRICH stellte in dieser Hinsicht eine Reihe von Beobachtungen mit der Säule an[2]. Der Akademiker YELIN in München machte endlich noch im Jahre 1818 eine Abhandlung über die Zamboni'sche Säule bekannt, in welcher derselben mehr als eine interessante Seite abgewonnen ist. Aufserdem habe ich selbst, SCHWEIGGER, MONTANUS LÜDICKE, MÜLLER, BECHSTEIN u. a. Beobachtungen an dieser Säule bekannt gemacht.

B. Construction der Zamboni'schen Säule. Verschiedene Einrichtungen derselben.

Die zuerst von ZAMBONI in Gang gebrachte trockene Säule, wie der Ritter ASSALINI sie der Münchner Akademie vorgezeigt hatte, bestand aus Scheiben ungeleimten *unächten Silberpapiers* (Papier, welches mit einer dünnen Lage von Zinn und Zink überzogen ist), das auf der nicht metallischen Seite mit einem Teig von *Braunstein* (Mangan-Hyperoxyd oder Graubraunsteinerz) und *Honig* belegt ist. In einer inwendig und auswendig mit Siegellack überzogenen Glasröhre, welche auf einem Fufsgestelle von Messing steht, waren 2000 solcher Scheiben zu einer Säule über einander geschichtet, so dafs alle einzelne Scheiben mit ihrer Silberseite nach der einen, mit der Braunsteinfläche nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sind. Die Glasröhre ist oben mit einer messingenen Kappe, die mit einem Knopfe versehn wird, verschlossen und mit dieser Messingfassung ist die oberste Platte durch einen Draht verbunden. Aufser diesen neuen Materialien, durch welche sich diese Zamboni'sche Säule von den frühern trocknen Säulen unterschied, machte aber besonders ihre Anwendung zur Bewegung eines Pendels, worin jedoch, wie wir schon oben bemerkt haben, DE LÜC und FORSTER dem ZAMBONI vorangegangen waren, damals grofses Aufsehn. ZAM-

1 SCHWEIGGER's Journ. XV. 126.
2 Ebendas. XV. 113.

Digitized by Google

BONI stellte nämlich zwei solche völlig gleiche Säulen 4 bis 5 Zoll weit von einander auf und zwischen ihnen auf einem eigenen Gestelle eine in der Mitte durchbohrte und wie die Inklinationsnadeln um eine horizontale Axe bewegliche Nadel, die ungefähr $\frac{1}{3}$ der Länge der Säule hatte. Sie wird abwechselnd von der einen und der andern Säule angezogen, und diese Bewegung dauert ebenso ununterbrochen fort, als die Wirksamkeit der Säule. Nach der damals von ASSALINI mitgetheilten Nachricht sollte ZAMBONI einen solchen Apparat besitzen, durch welchen die Nadel bereits seit zwei Jahren in gleichförmiger Bewegung sich befunden habe, ohne dafs bis dahin sich die geringste Abnahme ihrer Bewegung gezeigt hatte.

In der Abbildung dieses Apparats sieht man die beiden Säulen und die zwischen ihnen befindliche Nadel von vorn, in der folgenden die Nadel mit ihrem Träger von der Seite gezeichnet. Die Füfse der beiden Säulen F F und ihre Knöpfe D D sind von Messing, die Glasröhren P I, P I, welche mit Mastixfirnifs (oder nach einer andern Angabe mit Siegellack) überzogen sind, schliefsen die beiden trockenen Säulen in sich. Zugleich ist eine dieser Säulen abgebildet. Sie besteht aus 2000 Scheiben von unächtem Silberpapier, an ihrer Papierseite mit Honig und Braunstein eingerieben, von 4 bis 5 par. Lin. Durchmesser, und zwei kreuzweise um sie gebundene seidene Fäden vereinigen sie zu einer Säule, welche von aufsen mit Mastixfirnifs (oder Siegellack) überzogen ist. Die unterste Scheibe steht mit dem Messing des Fufses und die oberste mit dem Messing des Knopfes durch die Drähte P, P in Berührung. In A B C sieht man die Nadel abgebildet. Ihr oberer Theil C C besteht aus einer dünnen, mit Mastixfirnifs überzogenen Glasröhre; es sind h h die horizontale Axe und v v die Stützpuncte derselben, der Halbmond x dient als Gegengewicht der obern Hälfte der Nadel und läfst sich herauf- und herunterschieben, M N ist der Arm, der die Nadel trägt, P der Fufs.

Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25.

Später brachte ZAMBONI einige Verbesserungen an seiner trockenen Säule an[1]. Er schreibt in einem Briefe an PICTET

1 In einem Briefe aus Verona den 15. Jan. 1815. in G. LI. 182.

vor, die Papierseite des Silberpapiers mit Baumöl zu bestreichen, dieses mit einem linnenen Lappen sorgfältig abzuwischen und dann gepulverten Braunstein darauf zu sieben. Statt dessen könne man auch die Metallseite des Silberpapiers mit einer gesättigten Auflösung des salzsauren Zinks benetzen und, wenn diese dem Anscheine nach von selbst eingetrocknet ist, den gepulverten Braunstein darauf sieben. Bei diesem letzten Verfahren theilte die Säule die ihr eigenthümliche Elektricität weit geschwinder mit. Was die Erhaltung der Kraft der Säule betrifft, habe er mancherlei Versuche mit seiner Säule angestellt, er habe sie in isolirenden Mastix wie vergraben, er habe sie in Glasröhren gesetzt und diese mit gepulvertem Mastix oder Siegellack angefüllt, begnüge sich aber jetzt, sie in Glasröhren, die innerlich und äufserlich mit Firnifs überzogen sind, einzuschliefsen, ohne zwischen Säule und Röhre noch einen andern isolirenden Körper zu bringen, jedoch so, dafs die Wände des Glases die Säule nirgends berühren. Beide Enden der Glasröhre werden durch Korke und Mastix hermetisch verschlossen und durch isolirt durchgehende Drähte nach Bedürfnifs die nöthigen leitenden Verbindungen mit den Polen der Säule vermittelt. Noch später[1] glaubte Zamboni eine wichtige Verbesserung seiner Säule dadurch erreicht zu haben, dafs er die Rückseite des Silberpapiers mit einer mäfsig starken Auflösung von schwefelsaurem Zink in Wasser näfste, und nachdem durch Trocknen alle andere Feuchtigkeit, als die dem Papiere von Natur eigene, entfernt worden, über das auf dem Papiere sitzende Salz gepulverten und gut getrockneten Braunstein einrieb und dann schnell die Scheibenpaare bildete.

In dieser Zeit wurden von verschiedenen Instrumentenmachern in Paris (Dumotiez[2]), München (Ramis), Tübingen (Butzengeiger[3]) u. s. w. sogenannte Zamboni'sche Säulen verfertigt und vorzüglich zu Pendelversuchen eingerichtet, zu diesem Zwecke die isolirten Drähte der Pole mit Metallglocken versehn, die Säulen selbst, um sie wo möglich unwandelbar zu machen und gegen äufsere Einflüsse zu schützen,

1 G. LX. 152.
2 G. XLIX. 189.
3 G. LI. 189.

Digitized by Google

entweder mit Schwefel umgossen, oder mit geschmolzenem Siegellack auf das sorgfältigste überzogen. Eine Hauptabweichung von der Zamboni'schen Einrichtung, die namentlich Jaeger und Bohnenberger einführten, war aber, dafs dem negativen Elektromotor aus Braunstein *unächtes Goldpapier* (Papier mit einer dünnen Schicht Kupfer) substituirt und dadurch die Verfertigung solcher Säulen sehr erleichtert wurde. Man leimt die Bogen Silber- und Goldpapier mit ihrer Papierseite auf einander, und indem man ein Dutzend solcher Doppelbogen oder auch noch mehr auf einander legt, kann man mit einem Schlage durch ein dazu eingerichtetes Hohleisen, das unten geschärft und gehärtet ist, auf einmal 12 und mehr solcher Doppelscheiben erhalten, deren Gröfse sich nach dem Hohleisen richtet. Beim unächten Goldpapier mufs man wohl auf die Sorte desselben sehn, indem nach Bohnenberger[1] das Goldpapier, auf welches sogenanntes *gemahlenes* Metall aufgetragen ist, 5- bis 6mal schwächer wirkt, als dasjenige, welches durch aufgelegte Blätter von *geschlagenem Metalle* bereitet ist. Diese Doppelscheiben werden dann in eine Glasröhre über einander geschichtet, so dafs die homologen Metallseiten alle nach einer Seite zugekehrt sind und folglich die entgegengesetzten Metallflächen mit einander in Berührung kommen. Man kann auch viereckige Platten sich auf solche Art ausschneiden. Auch ist es eben nicht nöthig, die Metallbogen an einander zu leimen, sondern man kann sie auch nur über einander schichten, so dafs in gleicher Aufeinanderfolge die Metallflächen mit einander in Berührung kommen.

Die Hauptsache bei allen diesen trockenen Säulen beruht einerseits auf der innigsten Berührung der Papierscheiben unter einander, andererseits auf der möglichst vollkommenen Isolirung der Pole. Beides erreicht man am vollkommensten, indem man an beiden Enden der Säule Messingplatten anbringt, welche an ihren 4 Seiten mit Oesen versehn sind, durch welche überfirnifste, hinlänglich starke, seidene Schnüre gezogen werden, die man so stramm wie möglich anspannt und zusammenbindet. Hat man nicht zur Absicht, jede Einwirkung der Luft so viel als möglich auszuschliefsen, so thut man am besten, solche Säulen, um sie gegen Staub zu schützen, in

1 G. LIII. 365.

Digitized by Google

hohlen hölzernen, aufsen und innen überfirnifsten Säulen an seidenen Schnüren, welche sich an der hölzernen Platte, womit die Säule oben verschlossen ist, befinden, freischwebend aufzuhängen. Durch diese Platte wird in der Mitte ein hinlänglich grofses Loch gebohrt, durch welches ein mit einem Knopfe versehener Metallstift frei und ohne mit dem Holze in Berührung zu kommen hindurchgeht, der mit dem oberen Pole der Säule in inniger Berührung steht. Am untern Pole dagegen kann ein Metallstreifen angebracht werden, der aus einem Seiteneinschnitte im Fufse der hölzernen Säule frei hervorragt und mit der Schlufsplatte genau verbunden ist. Es versteht sich, dafs die hölzerne Säule innen weit genug seyn mufs, dafs die Zamboni'sche Säule selbst nirgends mit ihr in Berührung kommt, und durch das Anstofsen an den untern Metallstreifen kann man sich allezeit leicht von dem freien Schweben der Säule versichern. Auf diese Weise sind die beiden Pole der Säule so vollkommen wie möglich isolirt [1], man kann sie bequem mit Elektrometern, Condensatoren, Leidner Flaschen, auch die obern oder untern Pole zweier solcher in entgegengesetzter Ordnung aufgeschichteter Säulen nach Belieben mit einander in Verbindung setzen und so in *eine* noch einmal so grofse Säule verwandeln. Zwei solche Säulen, jede von 4000 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier von anderthalb Zoll Seite, habe ich mir vorzüglich zum Behuf meteorologischer Beobachtungen einrichten lassen, die ihrem Zwecke vollkommen entsprechen. Will man den Einflufs der Luft so vollkommen wie möglich abhalten, so mufs man die Säulen in möglichst enge Glasröhren, die aufsen und innen mit geschmolzenem Siegellack (dem besten Isolator) gut überzogen sind, einschliefsen, diese mit Korken verstopfen und durch Glasröhren, die gleichfalls innen gut mit geschmolzenem Siegellack überzogen sind, die Metalldrähte zu den Polen gehen lassen. Seitdem man das Zink sehr dünn auszuwalzen gelernt hat, hat man statt des unächten Silberpapiers auch Platten von solchem dünnen Zinkblech angewandt. Namentlich fand Schulz Montanus [2] solche Säulen aus dünnem Zinkblech und Goldpapier viel wirksamer als die

1 Vergl. Lüdicke in G. L. 92.
2 G. L. 87.

Digitized by Google

nach Zamboni's Art construirten Säulen, und zwei solcher Säulen von 500 viereckigen Plattenpaaren von 1½ Zoll ins Gevierte waren im Stande, eine an einem seidenen Faden zwischen ihren oberen Polen hängende Nähnadel in ununterbrochene Bewegung zu versetzen.

Von durch die Zahl ihrer Platten und die davon abhängige Verstärkung ihrer Wirkungen ausgezeichneten Säulen, die in der ersten Zeit, als die trockenen Säulen ein so allgemeines Interesse einflöfsten, construirt wurden, führe ich hier an:

1) Die Säule, deren sich Yelin zu seinen Versuchen bediente, von dem Mechanicus der Münchner Akademie, Ramis, verfertigt, jede von 5500 Platten unächten Silberpapiers, welches auf der Papierseite mittelst reinen Baumöls mit gutem fein gepulvertem Braunstein eingerieben und an der Sonne möglichst stark getrocknet war, die Platten selbst Kreisscheiben von 8 Par. Lin. Durchmesser, jede Säule 20 Par. Zoll lang, aufsen mit einem Harzüberzuge versehn und aufserdem noch in eine 1 Par. Zoll weite Röhre von weifsem an der innern Wand mit einer Lage Siegellack überzogenem Glase eingeschlossen, sonst wie die oben beschriebene Zamboni'sche Säule eingerichtet[1].

2) Die grofse Säule, welche der Hofmechanicus Eberbach zu Stuttgart[2] auf Befehl des Königs von Würtemberg und unter der Aufsicht des Leibmedicus Jaeger ausgeführt hat, bestehend aus 4 Säulen, die auf Glasfüfsen ruhten und jede über 3000 Scheiben enthielt, welche aus Gold- und Silberpapier zusammengeleimt waren und deren Oberfläche 3¼ Quadratzoll betrug. Durch leitende Drähte waren diese 4 Säulen zu *einer* Säule verbunden, in deren Mitte indefs eine Ableitung nach dem Boden angebracht war, so dafs sie sich, so lange diese Ableitung angebracht war, als zwei jede an einem ihrer Pole ableitend berührte Säulen verhielten.

3) Die einfache Säule vom Mechanicus Klingert in Breslau[3] aus 8000 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier.

4) Endlich der gröfste Apparat dieser Art vom Herrn Kammersecretär Bechstein in Altenburg[4] ausgeführt, bestehend

1 Yelin's Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 18.
2 G. LI. 87.
3 G. LIII. 337.
4 G. LVIII. 342.

Digitized by Google

aus zwei Säulen, jede von 10000 Scheiben Gold- und Silberpapier von 16 Quadratzollen Oberfläche.

C. Wirkungen der trockenen Säulen.

Die trockenen Säulen mit der grofsen Anzahl von Plattenpaaren zeichnen sich vor den gewöhnlichen nassen durch ihre starken elektroskopischen Wirkungen, durch die lange Dauer ihrer Wirksamkeit in fast ungeschwächtem Zustande und durch den gänzlichen Mangel oder die Geringfügigkeit ihrer chemischen und physiologischen Wirkungen aus.

1) Elektroskopische Wirkungen der trockenen Säulen.

In Rücksicht auf die elektroskopischen Wirkungen kommt die trockene Säule, was die Gesetze derselben betrifft, wie sie bereits[1] entwickelt worden sind, mit der nassen Säule vollkommen überein und nur der Umstand, dafs die Zahl der Plattenpaare der trockenen Säulen die der gewöhnlichen nassen so sehr übertrifft, ist die Ursache, dafs die elektroskopischen Wirkungen an jenen so viel auffallender zum Vorschein kommen und sich den starken Wirkungen der durch Reiben erregten Elektricität mehr nähern. Die vollkommen isolirten trockenen Säulen zeigen, gerade wie die nassen, an ihren beiden Enden entgegengesetzte Pole von gleicher Intensität, die ganz so, wie bei den nassen Säulen, mit der Zahl der Abwechselungen zunimmt und daher bei solchen Säulen aus einigen hundert Plattenpaaren schon sehr merklich auf das Goldblattelektrometer, bei Säulen von einigen 1000 Scheibenpaaren auf das Strohhalmelektrometer sehr merklich einwirkt. Gerade so wie bei den nassen Säulen nimmt die Spannung von beiden Enden der vollkommen isolirten trockenen Säule nach der Mitte zu in einfacher arithmetischer Progression ab, wo sich ein Indifferenzpunct, ein el. 0 befindet. Wird der eine Pol ableitend berührt, so steigt die Spannung an dem andern Pole auf das Doppelte, welches zugleich das Maximum ist, welches die Säule für sich allein erreichen kann. Die Pole liegen auch ganz nach demselben Gesetze, nach welchem sie bei der nassen Säule gelagert sind, der positive Pol an demjenigen Ende,

1 S. Art. *Galvanismus*. Bd. IV. S. 827.

Digitized by Google

nach welchem von den zwei sich berührenden hierbei wirksamen Elektromotoren (unächtes Silberpapier und Braunstein, unächtes Silberpapier und unächtes Goldpapier, Zinkblättchen und unächtes Goldpapier) der relativ-positive Elektromotor (die metallische Schicht des Silberpapiers oder das Zinkblättchen), der negative Pol an demjenigen Ende, nach welchem der relativ-negative Elektromotor (Braunstein, metallische Schicht des Goldpapiers) gerichtet ist. Hierin stimmen alle Beobachtungen von Behrens und de Luc an überein. Durch bedeutende Vermehrung der Anzahl der Scheibenpaare kann die elektrische Spannung so sehr verstärkt werden, dafs die Anziehungs- und Abstofsungserscheinungen der Pole schon auf bedeutende Entfernungen merklich werden, indem nicht blofs Goldblättchen, Nähnadeln, sondern auch sehr beweglich aufgehängte Metallkugeln, Pendel aus einer bedeutenden Entfernung angezogen werden und bei Tag sichtbare Funken überschlagen. Ein Goldblättchen, das an einem Drahte hing, der mit dem einen isolirten Pole der einen Säule von 10000 Scheibenpaaren verbunden war, wurde in einer Entfernung einer halben Elle von dem andern Pole angezogen und ein Pendel von 20 Zoll Länge, 7½ Loth schwer, 60mal in einer Minute zum Anschlagen an die Glocken gebracht, welche einen Zoll auf jeder Seite von demselben entfernt waren, wobei jedesmal im Dunkeln ein Funke von der Gröfse eines Stecknadelkopfes bemerkt wurde (Bechstein's Apparat). Die beiden Säulen von Ramis zusammen von 11000 Scheibenpaaren, eben verfertigt und in ihrer Wirkung durch trockenes Wetter begünstigt, gaben selbst im Sonnenschein sichtbare Funken, welche mit hörbarem Laute auf 3 Pariser Linien weit übersprangen und im Finger scharf empfunden wurden[1]. Eine an einem 3 Fufs langen Faden aufgehangene 3 Linien grofse Kugel machte Tag und Nacht hindurch ununterbrochen Schwingungen bei einem volle 12 Zoll betragenden Abstande der Säulenknöpfe. In Eberbach's Säule schwang das über 12 Zoll lange und beträchtlich schwere Pendel in Bogen von 6 bis 10 Zollen zwischen zwei Glocken hin und her und bezeichnete jede Schwingung durch einen Glockenschlag und durch einen in der Dunkelheit sehr auffallenden Funken. Gerade so

1 Yelin's Abhandl. S. 19.

Digitized by Google

wie durch nasse Säulen können auch durch trockene Säulen Kleistische Flaschen und ganze Batterieen bis zur Spannung der Säule selbst, sowie auch Condensatoren geladen und dadurch die elektrischen Wirkungen selbst noch auffallend verstärkt werden. Zamboni vermochte durch tausend Scheiben, die nach seiner zuletzt angegebenen Methode zugerichtet waren, in sehr kurzer Zeit Flaschen von 4 bis 5 Quadratfufs Belegung so stark zu laden, dafs man beim Entladen einen deutlichen Funken sah und den Schlag in den Armen und in der Brust fühlte[1]. Eine in Paris verfertigte Säule von 2000 Paaren Zink und Braunstein einige Secunden lang mit einem Volta'schen Condensator in Verbindung gesetzt lud den Condensator so stark, dafs er mehr als einen Zoll (?) lange Funken gab, welche bei wiederholter Verbindung mit dem Condensator stets wieder zu erhalten waren[2].

In Rücksicht auf die Zeit aber, in welcher Zamboni'sche Säulen Leidner Flaschen und Condensatoren bis zu ihrer Spannung laden und ihre eigene Spannung, wenn die vorher vollkommen geschlossene Säule wieder zu einer vollkommen offenen wird, sich wiederherstellt, findet ein sehr bemerklicher Unterschied zwischen den nassen und den trockenen Säulen statt, der um so gröfser ist, je mehr sich letztere dem Ideale einer trockenen Säule nähern. Schon Ritter bemerkte[1], dafs, wenn bei gewöhnlichen nassen Säulen, selbst wenn sie schon 6 Tage gestanden hatten, eine augenblickliche Berührung hinreicht, um sie auf das Maximum von Spannung zu laden, bei seinen trockenen Säulen aus Scheiben von Schafleder während der ersten Zeit derselben gegen 10, 15 und 20 Min. nöthig waren und, wenn die erst heifs angewandten Metallplatten sich allmälig abgekühlt hatten, die Säule am Elektrometer geprüft nur noch ihre halbe vorige Spannung erreichte und zur Ladung derselben Batterieen sogar 6 Stunden erforderlich waren. Diesen Punct der langsamen Wiederherstellung der Spannung, sofern sie durch das Elektrometer gemessen wird, und der langsamen Ladung des Condensators hat besonders Bohnenberger durch mehrere Versuche in ein

1 G. LI. 181.
2 G. XLIX. 184.
3 Phys. chem. Abh. II. 247.

Digitized by Google

helles Licht gesetzt. Es hängt nämlich die Schnelligkeit der Ladung von Flaschen u. s. w. und der Wiederherstellung der Spannung vorzüglich mit von der Gröfse der Oberfläche der Scheiben ab. Es wurden Säulen aus 2000 Doppelscheiben Gold- und Silberpapier zuerst zwei von 3,2 Linien Durchmesser, dann aber eine aus viereckigen, die 3 Quadratzoll Oberfläche hatten, mit ihrem positiven Pole mit der 39 Quadratzoll grofsen inneren Belegung einer Kleistischen Flasche leitend verbunden, während die äufsere Belegung und der negative Pol beide ableitend berührt wurden. Das Elektrometer erhielt von den beiden erstern Säulen erst nach 170 Minuten die gröfste Spannung von 21° eines Strohhalmelektrometers, von der 3ten Säule schon nach 17 Minuten die höchste Spannung von 20°,5. Bohnenberger zieht aus seinen Versuchen, womit auch die meinigen übereinstimmen, folgende Resultate:

a) Säulen aus einer gegebenen Anzahl gegebener Elektromotoren zeigen einerlei Spannung, wie auch die Zwischenkörper beschaffen seyn mögen, wenn diese nur dünne Schichten bilden und nicht selbst in die Classe der Elektromotoren gehören, sofern diese Spannung durch dasselbe Elektrometer gemessen wird.

b) Bei verschiedener Anzahl von Elektromotoren bei übrigens gleichen Voraussetzungen sind die Spannungen der Anzahl der Elektromotoren proportional.

c) Die Geschwindigkeiten, womit sich Säulen, die blofs in der Gröfse der Oberfläche der Platten von einander verschieden sind, laden und einem gegebenen Condensator oder einer gegebenen Kleistischen Flasche eine gewisse Spannung mittheilen, sind den Flächen dieser Platten proportional und es stehn mithin die dazu erforderlichen Zeiten im umgekehrten Verhältnisse dieser Flächen.

Säulen, welche, wie die nach der ersten Vorschrift Zamboni's erbauten, einen so gut leitenden Zwischenkörper, wie Honig, enthalten, weichen schon weniger in Rücksicht auf die Schnelligkeit ihrer eigenen Wiederherstellung und der Ladung der Condensatoren und Flaschen von den gewöhnlichen nassen ab, und so ist es nicht zu verwundern, dafs die Säule von Ramis nach einer Pause von einer halben Minute nach einer vollständigen Berührung wieder ihre volle Spannung hatte, jene starke Funken gab und in 30 Secunden eine grofse

Digitized by Google

Flasche zur vollen Spannung lud. Jemehr die Säulen sich der absoluten Trockenheit nähern, um so weniger sind sie im Stande, Condensatoren von gewöhnlicher Art bis zur vollen Spannung zu laden und diese bei der Aufhebung der Collectorplatte um die volle condensirende Kraft verstärkt zu zeigen, weil die Firnifsschicht, welche die Metallplatten des Condensators von einander trennt, nicht als undurchdringlich auch für Elektricitäten von schwacher Spannung angesehn werden kann und daher bei dem langsamen Zuströmen der Elektricität sich stets wieder ein Theil derselben durch die Firnifsschicht hindurch in den Erdboden verliert, ein Verhältnifs, auf welches wir weiter unten noch einmal zurückkommen werden[1].

2) Chemische und physiologische Wirkungen der trockenen Säulen.

Was nur für den ersten Anschein auffallen mufste, war der Umstand, dafs die trockenen Säulen, welche die gewöhnlichen nassen durch Zeichen freier El. so aufserordentlich übertrafen, keine Spur von chemischer Wirkung zeigten. Diese auffallende Verschiedenheit, welche DE LÜC zuerst an der trockenen Säule wahrnahm, mifsleitete ihn zu einer ganz abenteuerlichen Ansicht über die eigentliche Ursache der chemischen Wirkungen der nassen Säulen. Im Allgemeinen zeigten auch trockene Säulen von einer sehr grofsen Anzahl von Scheibenpaaren keine Spur von chemischen Wirkungen. So gaben die Säulen von RAMIS einzeln so wenig als vereint die allermindeste Spur von chemischer Wirkung, selbst nicht einmal als YELIN Platindrähte von $\frac{1}{20}$ par. Linie Durchmesser nach VAN MARUM's Verfahren in spitzig zugezogene Thermometerröhren einschmolz und nur das Spitzchen hervorstehn liefs. Auch BECHSTEIN wollte es nicht gelingen[2], mit seiner Riesensäule auch nur eine Spur von Wasserzersetzung hervorzubringen. Dagegen zeigen andere Versuche, dafs auch diese trockenen Säulen chemische Wirkungen hervorbringen können, sobald die übrigen Umstände einem wirksamern elek-

1 Vgl. hierüber besonders die scharfsinnigen Bemerkungen JAEGER's in G. LII. 81.

2 G. LVIII. 314.

Digitized by Google

trischen Strome günstig sind. Der wichtigste Umstand hierbei ist die Gröfse der Oberfläche der Scheiben. Hierüber sind Bohnenberger's[1] Versuche besonders entscheidend. Nicht die Vermehrung der Zahl der Scheiben, wenn diese nur einen sehr kleinen Durchmesser haben, setzt die trockene Säule in den Stand, chemische Wirkungen hervorzubringen, aber wohl die Vergröfserung der Oberfläche der Scheiben selbst bei einer kleinen Anzahl derselben. Eine Säule, welche aus 96 viereckigen, gut getrockneten Doppelplatten von Silber- und Goldpapier von 36 Quadratzoll Oberfläche bestand, wurde mittelst in Glasröhren eingeschlossener Platindrähte mit einem zur Wasserzersetzung eingerichteten Apparate an ihren beiden Polen in Verbindung gesetzt. Es zeigte sich sogleich Gasentwickelung an den Spitzen der Platindrähte, aber nicht wie bei den nassen Säulen ununterbrochen, sondern so, dafs man die aufsteigenden Bläschen noch zählen konnte, und diese Gasentwickelung fand noch nach 8 Tagen statt, als Bohnenberger diese Säule auseinander nahm, *welche keine Spur von Oxydation zeigte.* Als der Versuch mit einer solchen Säule von 1800 Doppelplatten wiederholt wurde, ging diese Gasentwickelung in einer Stärke vor sich, wie bei einer nassen Säule von 60 bis 100 zweizolligen Platten. Eine solche Säule lud aber auch durch eine schnell vorübergehende Berührung eine Kleistische Flasche von 39 Quadratzoll innerer Belegung bis zu der Spannung, welche ihr eine solche nasse Säule mitzutheilen vermag. Wurden die vier Säulen von Ebersbach[2] zu einer einzigen verbunden, so konnten zwischen ihren Endpolen deutliche chemische Wirkungen hervorgebracht werden. Merkwürdig ist es, dafs die trockenen Säulen, wenn sie auch auf nassem Wege keine chemische Wirkungen hervorbringen, doch dieselben auf trockenem Wege zeigen. Müller[3] bemerkt nämlich in seinem Berichte von der grofsen trockenen Säule Klingert's in Breslau, dafs an den messingenen Kugeln an den Stellen, wo das Pendel anschlug, oxydirte Flecken sowohl an der positiven als auch an der negativen Kugel, die keinen merkbaren Unterschied zeigten, entstanden. Dieses setzt eine grofse Hitze,

1 G. LIII. 352.
2 G. LI. 184.
3 G. LIII. 301.

Digitized by Google

welche an diesen Stellen durch den elektrischen Funken erzeugt wurde, voraus.

Dafs die trockenen Säulen auch keine merklichen physiologischen Erscheinungen, die nur durch einen lebhaften elektrischen Strom bewirkt werden, hervorbringen würden, war zum voraus zu erwarten. Indefs bringen sie bei grofser Anzahl der Scheibenpaare doch jene physiologischen Wirkungen hervor, welche die gleichsam mehr einseitig oder, wie Schweigger[1] sich ausdrückt, unipolar wirkende Elektricität erzeugt. So haben wir schon oben bemerkt, dafs der Funke, den Yelin aus dem einen Pole einer am andern Pole mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Säule von 5500 Scheiben mit dem Finger zog, in diesem scharf empfunden wurde. Schweigger konnte auch auf diese Art in praeparirten Froschschenkeln Zuckungen erregen, und schon Ritter beobachtete dieses Vermögen an seinen mit Schafleder erbauten Säulen. Blitze vor den Augen, Erschütterungen in den Armen u. s. w. haben auch die gröfsten trockenen Säulen aus Metallpapierscheiben nicht bewirkt.

3) Dauer der Wirkungen der trockenen Zamboni'schen Säulen.

Die gröfsten Hoffnungen erweckten diese Säulen in der ersten Zeit ihrer Bekanntwerdung in Hinsicht der Unwandelbarkeit ihrer Wirkungen. Der ersten Nachricht zufolge[2] sollte Zamboni einen wie oben beschriebenen Apparat besitzen, durch welchen ein Pendel bereits seit zwei Jahren in gleichförmigen Schwingungen erhalten worden sey, ohne dafs sich in dieser Zeit die geringste Veränderung in ihrer Bewegung gezeigt habe. Bechstein's Säule hatte sich wenigstens innerhalb 4 Wochen, nach deren Verfluss er seine Nachricht mittheilte, nicht im geringsten verändert. Unabhängig von den Variationen, welche indefs die Wirksamkeit solcher Säulen durch äufsere Umstände erleidet, ist es leider jetzt ausgemacht, dafs die Hoffnungen, durch dieselben ein *Perpetuum mobile* in Folge einer unwandelbar sich gleichförmig bleibenden Elektricitätsentwickelung und was sonst noch gewonnen

1 Dessen Journ. XVI. 138.
2 G. XLIX. 42.

zu haben, in das Reich der schönen Träume gehören. Schon DE LÜC[1] hatte bei seinen trockenen Säulen die unangenehme Erfahrung gemacht, dafs sein Pendel schon nach etwa 8 Tagen, nachdem es zum erstenmal in Gang gekommen war, in Stillstand gerieth. SCHÜBLER's nach DE LÜC's Muster erbaute Säule[2], nachdem sie die Wintermonate hindurch in gleichförmiger Thätigkeit geblieben war, zeigte schon gegen die Frühlingsmonate hin geringere Grade derselben, und in der Zeit, als die Vegetation erwachte und Felder und Bäume mit neuem Grün bedeckt wurden, war sie gänzlich zur Ruhe gekommen. Auch die so vollkommen wie möglich gegen die Einwirkung der Luft durch einen Ueberzug mit einem isolirenden Kitte und Einschliefsung in Glasröhren verwahrten Säulen zeigten ein allmäliges Abnehmen ihrer Thätigkeit. So bemerkt SCHÜBLER[3], vom Professor STRUVE in Lausanne gehört zu haben, dafs seine aus Paris erhaltene Säule seit einigen Wochen stehen geblieben sey, nachdem sie einige Monate lang in Thätigkeit gewesen war, und dasselbe hörte SCHÜBLER auch vom Professor PICTET in Genf, der seine Säule aus Italien erhalten hatte.

Bei meiner eigenen vor 20 *Jahren* von BUTZENGEIGER erhaltenen Doppelsäule von 6000 Scheibenpaaren im Ganzen mufste ich die mit den Enden der Säulen verbundenen Glocken einander immer mehr nähern, um das Pendel in Bewegung zu erhalten, das doch am Ende zur Ruhe kam; doch bringt noch jede derselben nach 20 Jahren unter günstigen äufsern Verhältnissen am Goldblattelektrometer eine ebenso grofse Divergenz hervor, als eine frischgebaute nasse Kupfer-Zinksäule mit Pappen, die mit Kochsalzauflösung getränkt sind, von 500 Plattenpaaren.

4) Einflufs verschiedener äufserer Umstände auf die Wirksamkeit der trockenen Säulen.

Wir betrachten hier zunächst nur den Einflufs der *Feuchtigkeit* und der *äufsern Wärme* auf die Wirksamkeit der tro-

1 G. XLIX. 117.
2 SCHWEIGGER's Journ. VII. 801.
3 Ebendas. XV. 142.

ckenen Säulen. Für die Theorie derselben war unstreitig die Beweisführung, dafs die sogenannte trockene Säule keine absolut trockene sey, dafs ihre Wirksamkeit blofs von dem kleinen Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit in den Papierscheiben abhänge, und dafs namentlich die Geschwindigkeit ihres elektrischen Stromes vorzüglich durch die Menge dieser Feuchtigkeit bestimmt werde, von grofsem Belange. Dafür sprechen eine Menge von Beobachtungen. Schon früh stellte Erman[1] mit Marechaux's trockener Säule in diesem Sinne viele Versuche an und gelangte zu dem Resultate, dafs diese trockene Säule, die nach ihrer damaligen Einrichtung der umgebenden Luft ausgesetzt war, als eine besondere Art von *Hygrometer* anzusehn sey, das sich durch elektrische Erscheinungen zu erkennen giebt, an Empfindlichkeit alle übrige Hygrometer übertreffe, bei welchem aber an eine Vergleichung nicht zu denken sey. Ihre ganze Wirksamkeit hing seinen Versuchen zufolge blofs von der Feuchtigkeit der Pappen ab und sank auf 0, sobald alle Feuchtigkeit diesen entzogen war. Er brachte seine Säulen in Glocken, die nachher so luftdicht wie möglich verschlossen wurden und in welchen sich eine beträchtliche Menge von geglühtem Chlorcalcium befand, und, um dem Einwurfe zu begegnen, dafs etwa der Mangel an Lufterneuerung hierbei mit im Spiele seyn könne, in ein geräumiges Gewölbe, in welchem sich eine grofse Masse frisch gebrannten Kalkes befand. In kurzer Zeit sank die Spannung der Säule auch mit dem empfindlichsten Elektrometer geprüft auf 0 herab. Auch dem blofsen Sonnenlichte von Morgens 8 Uhr bis Abends 6 Uhr ausgesetzt hatte eine solche Säule ihre el. Spannung fast gänzlich verloren. Auch Ritter beobachtete schon, dafs, wie er seine Scheiben von Schafleder einen Tag hindurch auf einem geheizten Ofen hatte liegen lassen, die Säule mit ihnen aufgebaut, ungeachtet sie äufserlich keine Verschiedenheit zeigten, durchaus keine Spur von Wirkung gab. Ebenso wie das Schafleder verhielt sich das Wachstuch. Auch Schübler überzeugte sich, dafs es nur der verschiedene Grad von Feuchtigkeit sey, von welchem der verschiedene Grad von Wirksamkeit solcher Säulen abhänge. Wurden solche Säulen bei feuchter Witterung errichtet, in

1 G. XXV. 1. fg.

Digitized by Google

welcher ihre Scheiben eine Zeit lang gelegen hatten, so entwickelten sie anfangs stärkere Elektricität, als andere auf dieselbe Art errichtete, deren Scheiben zuvor stärker ausgetrocknet worden waren; die gröfsere Thätigkeit der ersteren blieb aber nicht lange gleichförmig, sie wurde nach und nach schwächer, welches bei den trockenen weniger der Fall war. Eine Säule von 1200 Scheiben, auf einem Porzellanofen stark ausgetrocknet, indem die Scheiben (nach DE LÜC's erster Methode wie ein Rosenkranz auf einen seidenen Faden aufgezogen) nur locker an einander gereiht waren, zeigte nicht eine Spur von Wirksamkeit; erst nachdem sie einige Zeit in einem schwach geheizten feuchten Zimmer sich befunden hatte, erhielt SCHÜBLER einige Spuren von Elektricität. In sein sehr feuchtes Laboratorium von 8° R. mit gleichfalls nur locker aufgereihten Scheiben gebracht nahm die Elektricität um noch viel stärker zu, nach 20 Stunden von 4° bis auf 16°, in das Wohnzimmer von 10° R. und von viel geringerer Feuchtigkeit zurückgebracht nahm die El. in 24 Stunden wieder bis auf 9° ab; zwei Stunden lang einwirkende Ofenwärme war im Stande, auch diese El. vollends zu zerstören. Durch neues Aussetzen in feuchte Luft wurde die El. wieder aufs neue rege. Doch kamen bei oftmaliger Wiederholung dieser Versuche die Säulen nicht auf ihre ursprüngliche Stärke zurück und die Metalle hatten dann auch etwas von ihrem Glanze verloren.

Als SCHWEIGGER seine Säule, auf deren Silberpapierscheiben das Braunsteinhyperoxyd durch Leimwasser aufgetragen worden war, durch erhitzte Luft in einer Ofenröhre trocknete, war sie abgekühlt ohne alle Wirksamkeit, stark erhitzt zeigte sie wieder starke Wirksamkeit, gab aber einen Dunst von sich, und sie mufste dann stärker erhitzt werden. Als SCHWEIGGER die auf diese Art ausgetrocknete und auf die gewöhnliche Temperatur zurückgebrachte ganz unthätige Säule äufserlich mit einem nassen Pinsel bespritzte, nahm sie ihre ganze vorige Wirksamkeit wieder an [1].

PARROT in Dorpat stellte über den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Zamboni'sche Säule besonders genaue Versuche

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

Digitized by Google

an[1]. Er bediente sich dazu zweier Apparate, eines, in welchem er die Säule erst auf das Maximum von Feuchtigkeit brachte, und dann eines zweiten, in welchem er die Säule so viel als möglich wieder austrocknete. In den erstern gebracht war die Säule selbst, noch ehe die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, auf das Maximum ihrer Spannung gestiegen, nachher aber, da die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, wegen der ableitenden Wirkung der feuchteren Luft und da sich nun selbst äufserlich Feuchtigkeit auf die Säule niederschlug, die sich nafs anfühlte, wieder gesunken. Als darauf die Säule in den Austrocknungsapparat gebracht wurde, so erreichte sie in einem Versuche, wo der schlecht gebrannte Kalk langsamer wirkte, ihr Maximum von Spannung erst in 24 Stunden, in einem andern Versuche schon in 3 Stunden, indem die erste Wirkung auf die Entfernung der äufsern Feuchtigkeit, welche die Säule genäfst hatte, und auf bessere Isolirung der Pole hinging, dann aber bei eintretender innerer Austrocknung sank ihre Spannung allmälig, bis sie endlich 0 erreichte. Was auf diese Weise in längerer Zeit zum Vorschein kam, konnte vermittelst der Luftpumpe, indem man schnell Luft entzog und dadurch austrocknete oder mit zugelassener Luft wieder Feuchtigkeit hinzubrachte, in der kürzesten Zeit geschehn.

Die gröfste Mühe wandte indefs Jaeger[2] um, um über den Einflufs der Feuchtigkeit und über die angebliche Nothwendigkeit eines Rückstandes von hygroskopischer Feuchtigkeit zur Wirksamkeit der Säule Licht zu verbreiten. Er trocknete in einer Ofenröhre durch die durchströmende erhitzte Luft mit aller Sorgfalt die Metallpapiere aus und brachte die daraus errichteten Säulen noch überdiefs in einen Apparat, den er gegen allen Zutritt äufserer Luft so vollkommen wie möglich verwahrte und dessen Luftraum durch eine grofse Menge geglühten salzsauren Kalks auf den höchsten Grad der Trockenheit gebracht worden war. Wurde die so vollkommen ausgetrocknete Säule, dafs sie sich gegen Reibungselektricität als vollkommen isolirend verhielt, auf die gewöhnliche Weise mit Hülfe eines Conductors am Elektrometer geprüft, nach-

1 G. LV. 165.
2 G. LXII. 227.

dem sie auf 20° Lufttemperatur gesunken war, so zeigte sie allerdings keine Spur von freier Spannung, wurden aber die Strohhälmchen an eines ihrer Enden selbst aufgehängt, so dafs also der Verlust von Elektricität, der durch das Glasgehäuse des Elektroskops sonst bedingt ist, vermieden wurde, ein Verlust, der allerdings fortwährend das aufwiegen konnte, was bei der so schlechten Leitung einer solchen Säule nur höchst langsam zugeführt wurde, so zeigten die Strohhälmchen freie Spannung, die indefs nur halb so grofs war, als diejenige, welche die stark erhitzte Säule zu erkennen gab. Ein zweiter Umstand, der auf die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säulen von grofsem Einfluss ist und der allerdings etwas räthselhaft erscheint, ist derjenige der Temperatur. Es scheinen hierbei zwei Wirkungsarten in entgegengesetztem Sinne statt zu finden, eine schwächende, indem die Wärme mit ihrer Zunahme auf gröfsere Austrocknung der Säule hinwirkt, und eine andere die Wirksamkeit der Säule begünstigende, indem ihre Zunahme die elektrische Leitungsfähigkeit der Feuchtigkeit und vielleicht auch des Papiers an und für sich erhöht. Am wichtigsten sind in dieser Hinsicht Jaegers[1] Versuche. Wurde nämlich jener hermetisch verschlossene Apparat, in welchem sich die so vollkommen wie möglich ausgetrocknete Säule befand, die schon bei 20° R. keine Spur von freier Spannung, auf die gewöhnliche Weise geprüft, gezeigt hatte, in die geheizte Ofenröhre gebracht, und stieg das Thermometer, das in jenem Apparate mit angebracht war, auf 35° bis 40°, so setzte der Conductor das Bohnenberger'sche Elektrometer mit der dem oberen Pole der Säule entsprechenden Elektricität in Bewegung; dauerte die Erwärmung steigend länger fort, so machte der Conductor auch die Goldblättchen des Bennet'schen Elektrometers divergiren, und bei 40 bis 45° zeigte er schon an Volta's Strohhalmelektrometer mehr als die halbe Spannung, welche der Säule nach der Zahl ihrer Plattenpaare zukam. Stieg aber die Wärme auf 55 bis 60° am innern Thermometer und hielt sie so lange an, dafs man vermuthen konnte, die ganze innere Säule sey gleichförmig erhitzt, so erreichte die Elektricität nicht nur allmälig die der Gröfse der Säule entsprechende Spannung, sondern übertraf sie noch beständig um

1 A. a. O.

Digitized by Google

einen beträchtlichen aliquoten Theil, so dafs eine Säule von 1000 Scheiben, welche in ihrem nicht getrockneten Zustande nie mehr als 10° zeigte, bei diesem Hitzegrade vollständig 12° gab. Entlud Jaeger den Conductor der erhitzten Säule durch vorübergehende Berührung, so stellte sich die Elektricität wieder her, jedoch weit langsamer, als unter ähnlichen Umständen die El. einer nicht ausgetrockneten und nicht erhitzten Säule. Ebenso kann man mit dem Conductor einer erhitzten Säule einen gewöhnlichen mit Harz gefirnifsten Condensator laden, aber nur bei weitem langsamer, als mit einer nicht ausgetrockneten und nicht erhitzten Säule. Bei Erhitzung der Säule bis auf 70° und 80° schien die Geschwindigkeit der Wiederladung des Säulenpols, wenn er ableitend berührt wurde, noch beträchtlich zugenommen zu haben, aber die Intensität der Spannung hatte nicht weiter zugenommen. Schweigger's Versuche bestätigen im Allgemeinen die von Jaeger erhaltenen Resultate. Bohnenberger fand durch eine Reihe vergleichender Versuche, dafs die Geschwindigkeit der Ladung solcher Säulen, deren Elektromotoren durch Papier von einander getrennt sind, welches blofs mit thierischem Leime bestrichen oder damit getränkt ist, durch das Austrocknen in der Wärme vermindert wird, auch so lange sie noch heifs sind, aber durch die Abkühlung in feuchter Luft wieder hergestellt wird, während Säulen mit harzigen Zwischenkörpern sich um so geschwinder laden, je mehr sie erwärmt werden, wenigstens so lange die Wärme nicht über die Siedhitze steigt, und dafs sie diese Eigenschaft erhalten, wenn auch durch erhaltene Erhitzung die Feuchtigkeit soviel als möglich entfernt und durch einen harzigen Ueberzug der Hinzutritt neuer Feuchtigkeit verhindert wird. Dieses gilt namentlich bei Anwendung von Seidenpapier, das mit gekochtem Leinöl getränkt war. Bei einer Erwärmung von 60° bis 70° R. lud eine solche Säule von 60 Plattenpaaren von Zink und gewalztem Kupfer von 7 Linien Durchmesser den Condensator augenblicklich, bei einer Abkühlung auf 13° bis 14° fand die gleiche Ladung des Condensators erst nach mehrern Minuten statt. Ganz auf gleiche Weise verhielt sich eine Säule, bei welcher die Zwischenlage zwischen dem Zink und den Kupferplatten mit Bernsteinfirnifs bestrichener englischer Wachstaffent war.

Digitized by Google

5) Vermeintliche Periodicität in den Erscheinungen der trockenen Säule und Abhängigkeit derselben von atmosphärischen Einflüssen.

De Lüc glaubte in der trockenen Säule ein neues höchst schätzbares meteorologisches Instrument, ein Luft-Elektrometer, aufgefunden zu haben. Aufser einer gröfseren Periode, die mit der Periode der Veränderungen in der organischen Natur scheinbar zusammentraf, indem seine Säule, die den Winter hindurch durch das Goldblattelektrometer geprüft eine ziemlich gleichförmige Spannung gezeigt hatte, gegen das Frühjahr merklich abnahm und, als die volle Vegetation im Gange war, alle Thätigkeit verloren hatte, glaubte er noch eine tägliche kleinere Periode beobachtet zu haben, die ganz unabhängig von dem Gange der gewöhnlichen meteorologischen Instrumente, des Barometers, Hygrometers und Thermometers, zu seyn schien. Wenn nämlich das Anschlagen der Goldblättchen (indem die Elektrometer mit den entgegengesetzten Polen der vollkommen isolirten Säule in Verbindung standen) mehrere Tage beinahe gleichförmig fortging, pflegte es vom Morgen an bis zu einer gewissen Stunde Nachmittags zuzunehmen, dann aber bis an den Abend wieder abzunehmen. Aufserdem waren aber auch die Zeichen der Elektricität einige Tage hindurch stark und dann wieder schwach, und, was dabei merkwürdig war, zuweilen fand das Anschlagen einen oder zwei Tage über *nur an dem einen Pole*, wenn aber der Zustand der Atmosphäre sich änderte, *nur an dem andern Pole* statt. Diese ersten Beobachtungen veranlafsten De Lüc, auf einen bequemern Apparat zu sinnen, und brachten ihn auf die Anwendung eines kleinen Pendels, dessen Schwingungen durch ihre Zahl in einer gegebenen Zeit ihm als Mafs der Stärke der Elektricität dienten. Indefs stellte er, nachdem er seine stärkste Säule zu Stande gebracht hatte, nur 16 Tage hindurch vom 10. bis 26. Mai 1810 Beobachtungen damit an, die natürlich zu keinem eigentlichen Resultate führen konnten, und alles, was De Lüc über die Abhängigkeit der Zu- und Abnahme der Thätigkeit der Säule von der Elektricität der Atmosphäre und des Erdkörpers annimmt, blieb blofse Muthmafsung, die erst durch eine Reihe neuer eine hinlängliche

Digitized by Google

Zeit hindurch fortgesetzter Beobachtungen geprüft werden müfste. Diese stellte zunächst Schübler sowohl mit einer de Lüc'schen, als später mit einer Zamboni'schen an. Er begann seine Beobachtungen im Januar 1812, indem er mit einem Volta'schen Apparate[1] gleichzeitig vergleichende Beobachtungen über die Luftelektricität machte. Der negative Pol seiner Säule war mit dem Erdboden, der positive mit einem graduirten Volta'schen Strohhalmelektrometer verbunden. Mit Zunahme der Temperatur im Zimmer nahm die Elektricität der Säule zu, ohne im geringsten mit den Veränderungen der atmosphärischen Elektricität gleichen Schritt zu halten. Diese Beobachtungen wurden im Februar, März und April fortgesetzt; mit den ersten Tagen des Mai's, und als die Vegetation mit Gewalt hervorbrach, hatte die Säule alle ihre Wirksamkeit verloren. Das stärkste Gewitter war ohne allen Einfluſs auf die Säule gewesen. Die Resultate dieser ersten Beobachtungen bestätigten sich vollkommen, als Schübler mit einer Zamboni'schen Säule von 1600 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier von einem Zoll Durchmesser auf einer Reise durch die südöstliche Schweiz auf verschiedenen Stationen ähnliche Beobachtungen anstellte. Unter den mannigfaltigsten Abwechselungen der atmosphärischen Elektricität waren die Aeufserungen dieser Säule ganz gleichförmig, wenn der eine Pol mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wurde. Sie zeigte dieselbe Stärke auf dem Eismeere des Montblanc, wie einige hundert Schuhe tief unter der Erde bei Bex, bei dem heitersten ruhigsten Wetter an den Ufern des Genfersees, wie bei dem heftigsten Ungewitter auf den Alpen. Ward die Säule der atmosphärischen Elektricität ausgesetzt, so daſs diese sich ihr mittheilen konnte, indem ein Draht von dem einen Pole aus in die Luft sich erstreckte, so ward die Elektricität der Säule nach Art und Grad der atmosphärischen mannigfaltig modificirt, gerade so wie jede andere künstliche Elektricität die Spannung derselben geändert hatte. Bei einer trockenen Säule von 10000 Plattenpaaren, deren Stärke durch die Zahl der Pendelschwingungen gemessen wurde, zeigte sich die Thätigkeit der Säule mit Zunahme der Trockenheit der Luft verstärkt, mit ihrer Abnahme vermindert. Bloſse Erhöhung der Tem-

1 S. Art. *Luftelektricität*. Bd. VI. S. 465.

Digitized by Google

peratur der Säule selbst von 10° bis 60° R. hatte keinen Einfluss auf ihre Thätigkeit. Auch Placidus Heinrich konnte in seinen vom September bis November 1815 angestellten Beobachtungen über die Zahl der Schwingungen des Pendels zwischen seinen zwei Zamboni'schen Säulen keinen Unterschied wahrnehmen, jedoch zeigte sich im Allgemeinen die Zunahme der Temperatur günstig, die Abnahme ungünstig, was Heinrich vorzüglich von dem veränderten Cohaesionszustande des Honigs in seiner Säule ableitet, der in der Kälte sich mehr dem starren Zustande nähere und dadurch an Leitungsfähigkeit verliere, während er in dem flüssigen durch die erhöhte Temperatur bedingten als ein besserer Leiter wirkte.

Yelin hat mit besonderer Sorgfalt eine Reihe von Beobachtungen über die Ebbe und Fluth in der Thätigkeit der Zamboni'schen Säule und ihre etwaige Abhängigkeit von meteorologischen Veränderungen angestellt. Er bediente sich dazu jener oben beschriebenen von Ramis verfertigten Säule und richtete sich noch überdiefs ein in horizontaler Ebene seine Schwingungen machendes Pendel ein, welches so construirt war, dafs sein Gang als sehr regelmäfsig betrachtet werden konnte. Seine stündlichen Beobachtungen leiteten ihn darauf, eine regelmäfsige Periodicität der Zamboni'schen Säulenaction anzunehmen, jedoch auf eine andere Weise, als sie von Ritter für die Volta'sche Säule angenommen worden war [1].

a) Im Allgemeinen wächst nach Yelin vom ersten Morgen an bis Mittag die Thätigkeit der Säule und erreicht bis gegen 2 oder 3 Uhr Nachmittags ihr Maximum. Von hier an nimmt sie wieder ab, bis sie gegen 9 oder 10 Uhr Abends in der Regel etwas höher stehn bleibt, als sie am Morgen anfing. Diese periodischen Aenderungen will Yelin eben sowohl in der isolirten Säule, wenn gleich minder deutlich als an der nur einseitig freien Säule beobachtet haben. Er glaubt in den Actionen der Zamboni'schen Säule einen Zusammenhang mit den täglichen Ebben und Fluthen der atmosphärischen El., des Barometerganges und der Veränderungen der Magnetnadel wieder gefunden zu haben, doch keine vollkommene Ue-

1 Vergl. Erman in G. XXV. 1. fg.

bereinstimmung, indem bei der Säule um 12 Uhr Mittags, 6 Uhr Abends und um Mitternacht Pulsationen bemerkt werden, wo jene Kräfte keine dergleichen anzeigen, und um 3 Uhr Nachmittags und Morgens, wo jene Kräfte ihren Tiefpunct haben. Aufserdem fand Yelin eine bestimmte Beziehung zwischen der Thätigkeit der Säule und dem hygrometrischen Zustande der Atmosphäre. Ihre Thätigkeit nahm nämlich ab einige Tage vor dem Eintreten eines eigentlichen Regenwetters, und stieg, wenn im umgekehrten Falle nach länger andauernder feuchter und Regen-Witterung heitere Tage eintraten. Diese Anzeigen giebt die Säule mit wenigen Ausnahmen häufig selbst dann, wenn der Stand des Barometers und Hygrometers noch keine bevorstehende Aenderung erkennen liefsen[1].

So bestimmt nun Yelin sich über die Resultate seiner Beobachtungen ausspricht, so sind diese doch nicht lange genug fortgesetzt, um jene Resultate als solche begründet annehmen zu können, und es ist zu bedauern, dafs Yelin später nichts zur Bestätigung derselben bekannt gemacht hat.

Ich selbst habe im Laufe dieses durch seine grofse anhaltende Hitze und Trockenheit, sowie durch seinen hohen Barometerstand sehr ausgezeichneten Sommers (1834) einige Monate hindurch an meinen beiden gröfseren Zamboni'schen Säulen, die weder mit Kitt überzogen, noch in Glasröhren eingeschlossen sind, sondern, wie schon oben bemerkt, in hohlen hölzernen Säulen frei schwebend in seidenen Schnüren hängen, eine Reihe von Beobachtungen angestellt, dafs die Geschwindigkeit, mit welcher die Säule (indem nämlich beide dadurch zu einer einzigen vereinigt waren, dafs ihre oberen entgegengesetzten Pole durch einen Metallstreifen mit einander vereinigt, der untere Pol der einen mit dem Erdboden und der untere Pol der andern mit dem Knopfe des Elektrometers in Verbindung gesetzt wurde) dem Elektrometer ihre Ladung mittheilte, sowie auch die Gröfse der Spannung wesentlich vom hygrometrischen Zustande der Luft abhängt und dafs die Säule in dieser Hinsicht ein höchst empfindliches Hygrometer abgiebt. Stets fand ich nämlich mit Zunahme der Trockenheit der Luft die Intensität der Spannung sehr auffallend steigend, mit

1 Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 63.

Digitized by Google

Abnahme derselben fallend. So wie die Zunahme und Abnahme der Wärme und Trockenheit der Luft in den Monaten Julius und August eine gewisse Periode zu halten schienen, ebenso auch die durch das Volta'sche Strohhalmelektrometer angezeigte Spannung. Am 12., 13. und 14. Julius, wo bei ziemlich hohem Barometerstande die Wärme und auch die Trockenheit ihr erstes Maximum erreicht hatten, zeigte auch das Elektrometer eine sehr hohe Spannung. Doch dafs nicht zunächst die Wärme, sondern vielmehr die Trockenheit der Luft diese hohe Spannung bestimmten, bewies der 15. Julius, wo die Wärme keinen so hohen Grad erreichte, aber das Hygrometer gröfsere Trockenheit angab und auch die Divergenz den Strohhälmchen sich gröfser zeigte. Eine noch gröfsere Divergenz zeigten dieselben den 29., 30. und 31. Julius, wo am 30. um Mittag das Thermometer seinen höchsten Stand von + 26° R. in diesem ganzen Sommer erreicht hatte, und am 3. August, wo mit Nordost und doch hohem Thermometerstande von + 22° und mit einer auffallenden Trockenheit eine grofse Divergenz zusammentraf. Von da an aber nahm unter mancherlei Variationen die Spannung ab und im Ganzen zeigte sich immer die gleiche Correspondenz mit dem Feuchtigkeitszustande der Luft. Von einer täglichen Periode konnte ich bei der nicht hinlänglich grofsen Empfindlichkeit des Strohhalmelektrometers nichts bemerken.

Ganz anders verhielten sich meine in Glasröhren eingeschlossenen und gegen die Einwirkung der Luft so viel als möglich verwahrten kleineren Zamboni'schen Säulen. Nachdem sie bereits 20 Jahre ruhig gestanden, stellte ich wieder tägliche Beobachtungen an ihnen an. Wenn sie am günstigsten wirkten, brachten sie die Goldblättchen eines sehr empfindlichen Bennet'schen Elektrometers jede dritte Minute zum Anschlagen. Durch einen starken Messingdraht setzte ich den untern Pol jeder derselben mit dem feuchten Erdboden unmittelbar in Verbindung. Hier fand ich nun, dafs die Pole bei den Säulen, die aus einer gleichen Anzahl von Plattenpaaren bestanden, bald ganz gleiche Spannung zeigten, dafs aber bald der obere negative Pol der einen, bald der obere positive Pol der andern eine gröfsere Spannung offenbarte. Man möchte hieraus auf einen veränderlichen Zustand der Elektricität des Erdbodens einen Schlufs machen können. Meine

Digitized by Google

Beobachtungen sind indefs noch nicht lange genug fortgesetzt, um diese Variationen unter ein Gesetz zu bringen.

D. Theorie der sogenannten trockenen Säule.

Berücksichtigen wir nur die bisher vorgetragenen Beobachtungen über die trockene Säule, so scheinen alle Erscheinungen derselben mit der Ansicht, welche wir von der Wirkungsart der Volta'schen Säule vorgetragen haben, in vollkommenem Einklange zu stehn und das von uns erörterte Volta'sche Erklärungsprincip die vollkommenste Bestätigung zu erhalten. In Rücksicht auf die elektroskopischen Erscheinungen stimmt die trockene Säule in jeder Hinsicht mit der Volta'schen überein und findet in dem Principe derselben ihre zureichende Erklärung. Auch hier sind es zwei Elektromotoren der ersten Classe oder trockene Erreger, von welchen die eigentliche Thätigkeit ausgeht, die metallische Seite des unächten Silberpapiers als elektropositiver, die metallische Seite des unächten Goldpapiers als elektronegativer Erreger, an dessen Stelle auch Graphit oder Braunstein substituirt werden kann. Die Gesetze, nach welchen die Spannung wächst, müssen auch nothwendig dieselben seyn. Dafs die Wirkung durch das Einreiben von schwefelsaurem Zink verstärkt wird, erklärt sich aus dem Umstande, dafs dieses Salz mit allen Metallen selbst elektronegativ wird und die Spannung, die es mit dem Kupfer giebt, sich zu derjenigen dieses letztern mit dem Zink noch hinzugesellt. Die zweite Hauptbedingung für die Construction einer wirksamen Volta'schen Säule, dafs nämlich zwischen den in gleicher Ordnung auf einander folgenden Elektromotoren ein Zwischenkörper sich befinde, der nicht zu einer Spannungsreihe mit ihnen gehöre und doch ein Leiter der Elektricität sey, fehlt auch nicht in den gewöhnlichen sogenannten trockenen Säulen. Dieser Zwischenkörper ist nämlich die *Papierschicht*, die vermöge ihrer hygrometrischen Eigenschaft immer noch Feuchtigkeit genug zurückhält, um in einigem Grade den Dienst eines Leiters zu verrichten, aber eben aus dem *sehr geringen Leitungsvermögen* dieses Zwischenleiters erklären sich alle Eigenthümlichkeiten und Verschiedenheiten der Zamboni'schen Säulen von den gewöhnlichen nassen Volta'schen Säulen. Sie hängen

Digitized by Google

nämlich einzig und allein von der aufserordentlichen Retardation des elektrischen Stromes theils wegen des geringen Leitungsvermögens der lufttrockenen Papierschichten, theils wegen der grofsen Anzahl der übereinander geschichteten Plattenpaare ab. Alle Erfahrungen über die *chemischen Wirkungen* der Elektricität beweisen, dafs dieselbe nur in dem Verhältnisse, in welchem sie mit einer gewissen Geschwindigkeit strömt oder fortdauernd eine grofse Quantität derselben durch den zu zersetzenden Körper sich hindurch bewegt, ihre zersetzende Kraft ausübt. Nicht die Intensität, sondern die Quantität ist es, die hierbei in Betracht kommt. Elektricität von grofser Spannung wirkt gleichsam mehr als Masse und durchbricht die Flüssigkeit, während die Elektricität von geringer Spannung zwischen die kleinsten Theilchen eindringt. Eine Zamboni'sche Säule, die nach Mafsgabe der Anzahl ihrer Plattenpaare eine hundert-, ja tausendmal stärkere Spannung hat, als eine gewöhnliche Volta'sche Säule mit Zwischenleitern aus der Classe der besten nassen Leiter, liefert in gleicher Zeit doch ohne Vergleich weniger Elektricität, als letztere. Dieses beweist die schon sehr merkliche Zeit, welche eine solche Säule zur Ladung der Condensatoren und el. Batterieen gebraucht, welche von einer solchen Volta'schen Säule in einem Augenblicke geladen werden. Aber eben darum findet keine absolute Grenzlinie zwischen den nassen und trockenen Säulen statt, da letztere bei ihrer gewöhnlichen Construction auf keinen Fall als absolut trockene betrachtet werden können, und wirklich bringen auch, wie wir oben gesehn haben, die Zamboni'schen Säulen schon deutliche chemische und physiologische Wirkungen hervor, laden Condensatoren und Flaschen schneller, sobald man ihr Leitungsvermögen und damit ihren elektrischen Strom verstärkt durch Anwendung von Scheiben von einer gröfseren Oberfläche, durch gröfsere Feuchtigkeit der Papierschichten, durch eine geringere Dicke derselben, wie denn JAEGER[1] fand, dafs eine Säule, welche aus Metallpapier errichtet war, das auf der einen Seite unächt versilbert, auf der anderen unächt vergoldet war, den Condensator viel schneller lud, als eine Säule aus gleich vielen Scheiben von unächtem Silberpapier und abgesonderten Scheiben von unächtem Goldpapier, die mit ihren

1 G. LXII. 233.

Digitized by Google

Papierseiten an einander geleimt waren, wo die beiden Papierschichten einen doppelt so grofsen Widerstand entgegensetzten, als die einfache Papierschicht im ersten Falle, endlich durch festes Zusammenpressen[1], wodurch die Menge der Berührungspuncte, die zur Leitung dienten, vermehrt wurde.

Eben darum aber, weil wir die Zamboni'schen Säulen nur als dem Grade nach verschieden von den gewöhnlichen nassen betrachten, können diese Säulen nicht dazu benutzt werden, um den theoretischen Streit, ob ein chemischer Procefs oder die blofse Wirkung der Elektromotoren auf einander die Quelle der Elektricität, welche die Volta'sche Säule entwickelt, sey, zu schlichten. Aber ebensowenig können wir mit Parrot in den Erscheinungen der trockenen Säule einen Beweis für die Oxydationstheorie finden. Diesen Beweis findet er nämlich gerade in der verhältnifsmäfsig so geringen Menge von Elektricität, welche eine Zamboni'sche Säule verglichen mit einer nassen, deren Pappscheiben z. B. mit einer Salmiakauflösung getränkt sind, liefert. Wenn man die Zeit, welche beide gebrauchen, nun eine gegebene Kleistische Flasche bis zu einer gewissen Spannung zu laden, als Mafsstab für die Menge der Elektr., welche jede derselben liefert, gebraucht, so ergiebt sich, dafs eine solche nasse Volta'sche Säule in gleicher Zeit 1630mal soviel Elektr. entwickelt, bei gleicher Anzahl der Paare und gleicher Oberfläche. Diese so ungemein viel geringere Menge von Elektr. der trockenen Säule steht ganz im Verhältnisse mit der viel geringeren Menge Sauerstoff, die der Zinkplatte durch die wenige Feuchtigkeit zugeführt wird. Da nämlich das Zink nicht fähig ist, in der gewöhnlichen Temperatur das Wasser zu zersetzen und sich so zu oxydiren, so ist allein der atmosphärische Sauerstoff dazu erforderlich. Bei der äufserst langsamen Oxydation in der trockenen Säule berechnet Parrot, dafs ein Kubikzoll Sauerstoffgas, an eine Zamboni'sche Säule von 140 Plattenpaaren verwandt, auf 2000 bis 3000 Tage hinreichen würde, um am Ende dieser Zeit noch einige am Elektrometer erkennbare Elektr. zu liefern. Wenn alle Feuchtigkeit, welche diesen Sauerstoff zuleitet, durch vollkommene Austrocknung der Scheiben entzogen sey, so höre eben darum auch alle Wirkung

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

Digitized by Google

der Zamboni'schen Säule auf. So lange indefs die Volta'sche Theorie zur Erklärung aller dieser Erscheinungen noch ausreicht, können sie nicht als ein Beweis für die Richtigkeit der Oxydationstheorie angesehn werden.

Dabei ergiebt sich aber noch ein positiver Einwurf, der von dem Mangel einer wirklich statt findenden Oxydation selbst in den gewöhnlichen Zamboni'schen Säulen hergenommen werden könnte. Es ist von mehreren Physikern angemerkt worden, dafs sie, wenn sie ihre Säulen einige Wochen, ja Monate, nachdem sie aufgebaut waren, aus einander nahmen, die Metallflächen doch noch vollkommen blank vorfanden. So bemerkt namentlich Schübler, dafs, als er seine de Lüc'sche Säule aus einigen hundert Platten Zink und Goldpapierscheiben, die 5 Monate hindurch, vom Januar bis Mai 1813, ihm zu seinen Beobachtungen gedient hatte, auseinander nahm, nur die Scheiben von Goldpapier, die übrigens sonst blank waren, einige Puncte wie von Verkalkung zeigten, dagegen das Zink durchaus nicht angegriffen erschien. Auch Bohnenberger konnte an allen den trockenen Säulen, mit denen er seine Versuche anstellte, keine Spur von Oxydation wahrnehmen, und sie ist bei den Säulen, wo er *gefirnifstes*, mit gekochtem Leinöl getränktes Papier oder Wachstaffent anwendete, vollends nicht anzunehmen, weil man bekanntlich polirte Metalle durch einen Ueberzug von Firnifs gegen das Anlaufen sichern kann[1]. Auch ist es kaum begreiflich, wie bei meinen in sehr enge und hermetisch verschlossene Glasröhren, die so gut wie ganz durch sie ausgefüllt sind, eingeschlossenen Säulen nach vollen zwanzig Jahren noch so viel Sauerstoffgas übrig seyn sollte, um durch Oxydation so viele Elektricität zu entwickeln, als sie bis zur Stunde noch zeigen, da die mit ihren Polen in Verbindung gesetzten Goldblättchen eines Bennet'schen Elektrometers 8- und mehrmal in der Minute an die Stanniolableitungen des Glasgefäfses anschlagen. Parrot hat eine seiner Theorie im Wege stehende Schwierigkeit nicht übersehn. „Bei der so geringen Menge von Elektricität, welche die Zamboni'sche Säule aus der Luft zieht, werde man es vielleicht (äufsert er sich[2]) unbegreiflich

1 G. LIII. 362.
2 A. a. O. S. 231.

Digitized by Google

finden, dafs sie am Elektrometer eine so hohe Spannung zeige, da 140 Paare so viel vermögen, als 100 Paare einer Volta'schen Säule (streng genommen als 140 Paare, wenn die Elektromotoren beider Säulen einander gleich sind). Das Unbegreifliche verschwinde aber, wenn man bedenke, dafs die Zamboni'schen Säulen wegen der Biegsamkeit ihrer Blättchen eine Zusammensetzung weit vollkommenerer Condensatoren sey, als die Volta'sche Säule. Daher leisten auch die Volta'schen Säulen mit sehr grofsen Platten viel weniger elektrometrische Wirkung, als die kleineren bei gleicher Anzahl, weil die gröfseren Platten sich viel weniger eben bearbeiten lassen als die kleineren und bei dem Gebrauche verbiegen. Weil die dickeren Platten der gewöhnlichen Volta'schen Säule nicht eben seyen, so lassen sie dickere und ungleich dickere Luftschichten zwischen sich, wirken also als unvollkommenere Condensatoren, und daher die relativ schwächere elektroskopische Wirkung, als man nach der so viel gröfseren Menge von El., welche sie entwickele, erwarten sollte." Parrot meint endlich, dafs eine mit Salmiakwasser aufgeführte Zamboni'sche Säule eine ganz ungeheure elektrometrische Wirkung äufsern würde, wenn nicht die Metallfolie ganz zerrissen würde, ehe die Säule noch erbaut wäre. Dafs diese Behauptungen mit den bewährtesten Erfahrungen in directem Widerspruch stehn, brauchen wir kaum zu erinnern. Alle Versuche stimmen darin überein, dafs die Gröfse der Platten durchaus keinen Einfluſs auf die elektroskopische Wirkung hat, die vielmehr einzig und allein von der Anzahl der Plattenpaare und der Qualität der Elektromotoren, aus welchen jedes einzelne Plattenpaar zusammengesetzt ist, abhängt. Auch läfst sich aus einer Wirkungsart nach dem Gesetze des Condensators auf keine Weise eine Erhöhung der elektroskopischen Wirkung begreifen, da solche eher auf Schwächung derselben hinwirken würde. Wir verweisen übrigens in dieser Hinsicht auf unsere Kritik der Erklärung der Vervielfachung der elektroskopischen Wirkung durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten in unserm Artikel über den *Galvanismus* S. 977 bis 987.

Die Uebereinstimmung der Erscheinungen der trockenen Säule mit dem Principe der Volta'schen Theorie beruht wesentlich auf der Voraussetzung, dafs die Zwischenleiter in derselben (die Papierschichten) wenigstens in einigem

Digitized by Google

Grade Leiter der Elektricität sind. Diese Erklärungsart und damit die Volta'sche Theorie überhaupt würde aber gänzlich über den Haufen geworfen, wenn man den Beweis führen könnte, dafs es auch vollkommen trockene wirksame el. Säulen gebe, Säulen, deren Zwischenleiter *vollkommene Isolatoren* seyen. Diesen Beweis hat Jaeger zu führen und dadurch ein ganz abweichendes Erklärungsprincip der Vervielfachung der Spannung zu begründen gesucht. Gleich bei der ersten Nachricht von der Zamboni'schen Säule stellte Jaeger solche Versuche an, welche ihm diesen Beweis unwiderleglich zu liefern schienen[1]. Er liefs zwölf Zinkscheiben mit einer ihrer Seitenflächen an ebenso vielen Kupferscheiben eben abschleifen, die gleichförmigen Flächen poliren und die zwei zusammengeschliffenen Zink- und Kupferscheiben mit einerlei Zeichen bezeichnen. Darauf überzog er die polirten Flächen der Zink- und Kupferscheibe No. 1. mit einer dünnen Lage Lackfirnifs (einer gesättigten Auflösung von Schellack in Alkohol[2]), klebte beide, ehe der Firnifs noch ganz trocken war, mit den gefirnifsten Flächen auf einander und liefs sie dann auf dem geheizten Ofen völlig trocknen. Ebenso verfuhr er mit den übrigen 11 Plattenpaaren. Somit hatte er also 12 Condensatoren, jeden aus einer Zink- und Kupferscheibe bestehend, welche durch eine beide zusammenklebende Harzschicht getrennt waren. Er prüfte jedes dieser Paare noch besonders auf seine condensatorische Wirkung, indem es nicht so leicht war, zu verhindern, dafs die Platten an ihrer Harzfläche nirgends in metallische Berührung mit einander kamen, und sie dennoch so genau an einander zu bringen, dafs sie als wirkliche Condensatoren wirkten, und überzeugte sich von ihrer vollkommenen Beschaffenheit in dieser Hinsicht. Dann legte er die freie Kupferfläche des Condensators No. 1. auf eine mit dem Boden leitend verbundene Unterlage von Zink, dann auf die freie Zinkseite dieses Condensators No. 1. die freie Kupferseite des Condensators No. 2. und so fort, bis eine Säule von den 12 Condensatoren über einander geschichtet war. Wurde nun das Zink des Paars No. 12. mit dem kupfernen

1 G. XLIX. 47.

2 G. L. 214., wo sich diese Berichtigun der frühern Angabe, dafs es Copalfirnifs sey, findet.

Digitized by Google

Collector eines guten Condensators, der auf seiner ableitend berührten Unterlage ruhte, durch einen isolirten Leiter verbunden, so zeigte nach wieder getrennter Verbindung der aufgehobene Collector jedesmal — E, und zwar von einer 13mal so grofsen Spannung, als ein einzelnes ableitend berührtes Stück Zink an demselben Condensator hervorbrachte, denn mit Einschlufs der Unterlage aus Zink und der Collectorplatte aus Kupfer bestand jetzt die Säule aus 13 Plattenpaaren. Verminderte Jaeger die Anzahl seiner kleinen Condensatoren, so zeigte der Collector in eben dem Mafse vermindertes — E, in welchem weniger Zink- und Kupferplatten mit einander in metallischer Berührung standen. Wurde die Säule umgekehrt und unter das Zink No. 12. eine kupferne Unterlage gebracht und mit dem Boden leitend verbunden, so theilte die Kupferscheibe No. 1. einem Condensator von Zink + E von eben der 13fachen Spannung mit, kurz die Säule zeigte unerschöpflich alle elektrische Aeufserungen einer mit nassen Leitern aufgebauten Volta'schen Zinkkupfersäule, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die Ladung des Condensators eine beträchtlich längere Zeit zu erfordern schien als bei der letzteren. Diese Säule wurde dann auseinander genommen, die Platten sorgfältig von ihrer Harzschicht befreit und blofs die Spiegelflächen der Kupferplatten mit einer dünnen Lage Copalfirnifs überstrichen, über diese eine Schicht von dünnem Taffent glatt und straff gezogen und stark getrocknet. Indem auf den Taffent die zu der Kupferplatte gehörige Zinkscheibe mit ihrer Spiegelfläche aufgelegt wurde, erhielt Jaeger wieder eine Säule nach dem vorigen Schema, welche alle Eigenschaften der vorigen Säule zeigte. Ebendieses gelang, als er blofs die Spiegelflächen der Zinkscheiben firnifste, auf jede eine Scheibe von unächtem Goldpapiere, mit der Papierseite auf den Firnifs gelegt, aufklebte und die so erhaltenen Paare so übereinander schichtete, dafs die Metallseite des Papiers mit der freien Fläche des darauf gelegten zweiten Paars u. s. f. in Berührung kam. Endlich liefs Jaeger von dünnem, grünlichem Fensterglase Quadrate von etwa 1,5 Zoll Seite schneiden. Die eine Seite jedes dieser Quadrate wurde mittelst dünnen Leimwassers mit unächtem metallischem Schaumgold, die andere mit unächtem Schaumsilber überzogen und dann 24 solche Quadrate nach dem obigen Schema (darin statt Harz Glas gesetzt)

Digitized by Google

auf einander geschichtet. Sie zeigten an dem Condensator die 24- oder 25fache Spannung, welche unächtes Gold und Silber in ihrer einfachen Berührung mittelst desselben Condensators bewirken.

An diese Versuche reihen sich die später von JAEGER[1] über die vollkommene Austrocknung gewöhnlicher Zamboni'scher Säulen durch künstliche Wärme und salzsauren Kalk angestellten an, von welchen schon oben die Rede gewesen ist. Wir haben gesehn, dafs eine solche Säule von höherer Temperatur sehr auffallende elektrische Wirkungen zeigt. Um dieses nach dem Volta'schen Principe der Durchleitung zu erklären, müfste man annehmen (äufsert sich JAEGER[2]), ein Minimum von Wasser besitze bei einer Temperatur von weniger als etwa 30° R. dieses Durchleitungsvermögen nicht, erhalte es aber, wenn es bis auf 50° R. und mehr erhitzt werde, und behalte es selbst, wenn seine Masse durch Verdunstung bei diesem Temperaturgrade noch bedeutend abnimmt. Diese Annahme enthalte schon an sich selbst etwas wenigstens bis jetzt Unbegreifliches, und sie werde widerlegt durch den Umstand, dafs die so getrocknete und erhitzte Säule einer der vollkommensten Isolatoren sey. Verbinde man, während ihr einer Pol den Boden berührt, den andern freien Pol leitend mit dem Conductor eines Elektrometers, so könne man letzteres durch geriebenes Glas oder Siegellack auf jeden beliebigen Grad laden, ohne dafs sich diese mitgetheilte Elektr. durch die Säule hindurch in den Boden ergiefse. Ja JAEGER konnte, selbst wenn er die Blechkapsel mit der in ihr eingeschlossenen erhitzten Säule auf eine heifse Glasplatte setzte, den Säulenconductor und die Kapsel mit entgegengesetzter El. laden, ohne dafs sich diese durch die Säule hindurch mit einander vermischten. Hängt man die heifse Säule vermittelst einer trockenen Seidenschnur an dem einen Pole auf und theilt diesem El. mit, so erscheint am andern Pole sehr langsam die homologe Elektricität von derselben Spannung (??); nimmt man die letztere durch Berührung hinweg, so erscheint am zweiten Pole die entgegengesetzte Elektr., welche vorher durch Condensation dort latent gewesen war. Ebenso konnte man

1 G. LXII. 229.
2 A. a. O. 236.

Digitized by Google

eine geladene Leidner Flasche nur theilweise und nie mit einer Explosion durch eine solche heifse getrocknete Säule hindurch entladen. Bei der Anwendung einer solchen Säule von 1000 Scheiben springen aus einer Batterie von 4 Quadratschuh innerer Belegung und der Verbindung des einen Pols der Säule mit der äufsern Belegung, wenn ein mit dem andern Pole verbundener isolirter Leiter dem Conductor der Batterie genähert wurde, blofs einige knisternde Funken über; der gröfste Theil der Ladung war in der Batterie zurückgeblieben, die beiden Säulenpole aber fanden sich mit entgegengesetzter El. geladen.

Auf diese Versuche gründet nun Jaeger seine von der Volta'schen abweichende Erklärung, indem er die Vervielfachung der Spannung durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten auf einander durch die sie trennende Schicht hindurch vermittelst der El., welche sie selbst durch ihre elektromotorische Kraft entwickelt, begreiflich zu machen sucht. Um die Ladung von Condensatoren, Leidner Flaschen zu erklären, nimmt er eine ganz eigenthümliche Art von Leitung in der Säule an. Er unterscheidet nämlich Leitung oder *Durchströmung in einer Richtung* von einem Plattenpaare zum andern durch den Zwischenleiter hindurch, wie Volta sie annehmen müsse und wie sie bei den eigentlichen Leitern statt finde, von Leitung oder Durchdringung oder *Eindringung* von *entgegengesetzten Richtungen* aus. Die entgegengesetzten Elektricitäten, welche an den durch die Harzschicht getrennten einander gegenüberstehenden Flächen der Metallplatten sich anhäufen und latent machen, zugleich aber auch ein Bestreben haben, sich mit einander zu verbinden, sollen allerdings in das Innere der Harzschicht eindringen können, um sich daselbst zu neutralisiren. Dieses sey der Charakter solcher Isolatoren, dafs sie zwar die Elektricität in einer Richtung mit durchlassen, aber wohl von zwei Seiten her für die beiden Elektricitäten so durchdringlich sind, dafs sich beide in ihnen begegnen und in ihrem Inneren mit einander neutralisiren. In dem Verhältnisse, in welchem diese Durchdringung und Neutralisirung geschehe und durch gleichzeitig wirkende elektromotorische und condensirende Kraft die entgegengesetzte El. sich stets unerschöpflich wieder erneuere, ergiefse sich auch von dem Pole aus El. in den Condensator

Digitized by Google

oder in eine Leidner Flasche und lade sie. Würde eine gewöhnliche Durchleitung im Volta'schen Sinne statt finden, so würde man diese Ladung nicht begreifen können, indem ja in derselben Zeit, in welcher die Elektricität die Harzschichten durchdringt, durch welche die Elektromotoren (in JAEGER's Säulen) von einander getrennt sind, auch die Harzschicht durchdrungen wurde, welche die Condensatorplatten von einander trennt[1]. Diese Ansicht von der Wirkungsart der trockenen Säule sucht JAEGER durch eine sehr sinnreiche Vergleichung mit den el. Erscheinungen des *Turmalins* noch weiter aufzuklären und zu bestätigen[2]. Er dringt in dieser Vergleichung vorzüglich auf den Satz, dafs der eine Pol nur dann El. zeige, wenn dem andern Pole gleichzeitig seine El. entzogen werde. Wenn ein Turmalin auf eine Glasröhre befestigt doch mit dem einen Pole El. zeige, so werde verhältnifsmäfsig ein anderer Theil thätig, *da die Glasröhre nicht vollkommen isolire.* Man könne den Turmalin gleichsam als eine Aneinanderreihung von Blättchen, von denen je zwei als Elektromotoren wirken und das dritte gleichsam die Rolle der Harzschicht spiele, betrachten, von denen eine sehr grofse Anzahl in gleicher Ordnung an einander gelagert sind. Wir verweisen in Rücksicht auf die weitere Ausführung auf die Abhandlung selbst.

Was nun das eigentliche Erklärungsprincip der Verstärkung der Spannung mit der Zahl der Plattenpaare durch eine Wirkung der Zwischenleiter als *Condensatoren* betrifft, ein Princip, welches JAEGER sogar auf die nassen Säulen ausgedehnt hat, so beziehen wir uns auf die bereits [3] gelieferte Prüfung. Den Unterschied einer Fortleitung und Bewegung der Elektricität in einer Richtung und eines Eindringens und Durchdringens von zwei entgegengesetzten Seiten her können wir durchaus nicht zugeben. Für den Anhänger der Franklin'schen Theorie existirt schon zum voraus ein solcher Unterschied gar nicht, in ihrem Sinne ist alle Fortleitung der El. stets nur eine *einseitige*, findet immer nur in *einer* Richtung statt, für den Dualisten dagegen ist jede Leitung eine

1 G. XLIX. 54.
2 G. LV. 369.
3 S. Art. *Galvanismus.* Bd. IV. S. 977 bis 987.

Digitized by Google

Durchdringung von zwei Seiten her, immer macht die eine freithätige oder überwiegende El., von der die Wirkung ausgeht, ihren Gegensatz frei, der ihr von der entgegengesetzten Seite entgegenkommt und mit dem sie sich neutralisirt, und so findet alle Fortleitung auch durch die besten Leiter immer nur auf dieselbe Weise statt, wie Jaeger sie nur für die sogenannten Isolatoren gelten lassen will. Der ganze Unterschied ist ein blofser gradativer oder bezieht sich auf die Schnelligkeit, mit welcher diese abwechselnde Zersetzung und Wiederzusammensetzung des 0 und des + und des — im Raume erfolgen. Insofern es keine absoluten Isolatoren giebt, haben auch alle jene Schichten von Copalfirnifs, Lackfirnifs, Taffent u. s. w. eine relative Leitungsfähigkeit für El. und sind also wohl im Stande, die El. von einem Plattenpaare zum andern über- und durchzuleiten und so die Zunahme der El. mit der Anzahl der Plattenpaare durch blofse Addition zu bewerkstelligen. Nur geschieht diese Leitung in dem Verhältnisse langsamer, in welchem der Zwischenleiter überhaupt ein besserer sogenannter Isolator ist, weswegen der el. Strom allezeit schwächer wird in dem Verhältnisse, in welchem sich die Zwischenleiter mehr der absoluten Austrocknung nähern. Jaeger behauptet ja selbst in seiner Abhandlung über den Turmalin, dafs es aufser der Luft keinen vollkommenen Nichtleiter gäbe. Wollte er aber in jener Säule, welche Watkins[1] zu Stande gebracht haben will, in welcher eine *blofse dünne Luftschicht* den Zwischenleiter bildet, den letzten unwiderleglichen Beweis für seine Erklärung und gegen Volta's Theorie in Anspruch nehmen, so könnten wir ihm auch diese Zuflucht nicht einräumen, da auch die Luft, besonders wenn sie sehr feucht ist, ein wenn gleich sehr unvollkommener Leiter ist und auch mit ihrer Dichtigkeit ihr Widerstand gegen den Ueber- und Durchgang der El. abnimmt. Aufserdem kommt Jaeger mit sich selbst in Widerspruch. An einer Stelle[2] behauptet er, die Elektricität seiner trockenen Säule selbst durch einen solchen Condensator verstärkt dargestellt zu haben, dessen Platten durch dieselbe isolirende Schicht von einander getrennt gewesen seyen, wie die Platten

1 Poggendorff's Ann. XIV. 386.
2 G. XLIX. 54.

Digitized by Google

der kleinen Condensatoren, aus denen seine trockenen Säulen aufgebaut gewesen waren. An einem andern Orte[1] bemerkt er aber dagegen ausdrücklich, dafs man zur Ladung eines Condensators durch irgend eine Säule die Schicht, welche die Condensatorplatten von einander trenne, immer um einen Grad mehr isoliren müsse, als die Schicht, welche die Plattenpaare von einander trenne, und führt als Belege mehrere besondere Fälle an.

Jaeger stützt sich besonders[2] auf folgenden Versuch als einen Beweis für das Vermögen der Holzschichten und anderer solcher isolirenden Zwischenlagen seiner trockenen Säulen, die an ihren Grenzflächen vorhandenen entgegengesetzten Elektricitäten allmälig in ihr Inneres eindringen zu lassen, so dafs sie sich einander begegnen und gegenseitig neutralisiren, die *Durchleitung in einer Richtung dagegen zu verweigern*, so dafs, wenn man eine nicht sehr grofse trockene oder nasse Säule an ihrem einen Pole a mit dem Erdboden und an ihrem andern Pole b mit einem Elektrometer verbinde, dieses das Maximum von Elektricität zeige, das diese Säule geben könne. Lege man nun auf den Pol b einen jener zusammengeklebten Condensatoren mit seiner einen Scheibe, während die andere Scheibe desselben ableitend berührt werde, so fallen die Strohhalme des Elektrometers bedeutend und zwar bleibend zusammen. Dieses könnte nicht geschehn, wenn nicht durch den harzigen Zwischenkörper wirklich anhaltend El. verloren ginge. Der harzige Zwischenkörper könne aber hier nicht etwa blofs als ein schlechter Leiter wirken, welcher die El. *in einer Richtung* durch sich hindurch in den Boden gehn lasse, denn die beiden Scheiben des zusammengeklebten Condensators werden bei diesem Versuche mit *entgegengesetzten Elektricitäten geladen*. Es könne daher die von b kommende El. nur dadurch, dafs sie in den harzigen Zwischenkörper eindringt und sich in ihm mit der vom Boden aus herbeiströmenden entgegengesetzten El. neutralisirt, so geschwächt werden, wie es die bleibende verminderte Divergenz des Elektrometers zu erkennen giebt. Dagegen erinnern wir ganz einfach, dafs die Harzschicht des

1 G. LII. 102.
2 G. LII. 89.

Digitized by Google

kleinen Condensators, insofern sie nur eine relativ isolirende ist, die Elektricität, deren Spannung einen gewissen Grad übertrifft, allerdings in sehr kurzer Zeit und gleichsam augenblicklich und gleichsam als einen kleinen Funken durch sich hindurchdringen läfst. Dieses gilt also auch hier von der El. der Säule, sofern sie einen gewissen Grad von Spannung übertrifft, dagegen wird die El. von schwächerer Spannung und etwa von so schwacher, dafs sie unmittelbar auf das Elektrometer nicht mehr wirkt, durch die Harzschicht zurückgehalten oder wenigstens nur sehr langsam durchgeleitet, und diese wirkt begreiflich nach dem gewöhnlichen Gesetze des Condensators und bindet in der gegenüberstehenden Platte die entgegengesetzte Elektricität, so wie sie gegenseitig von dieser gebunden wird, und eben davon hängt die Ladung des Condensators ab.

Hier verdient noch auf eine Beobachtung DE LÜC's Rücksicht genommen zu werden, welche uns einen Beweis zu liefern scheint, dafs der Vorgang, durch welchen sich die Pole einer Säule laden, ein ganz anderer ist, als der Vorgang der Elektricitätserregung durch Vertheilung, zu welchem auch die Elektricitätserregung durch condensatorische Wirkung gehört. Letztere kann auch durch eine lange Strecke von Nichtleitern (lange Glasstangen) gleichsam momentan geschehn, indem die entgegengesetzten Elektricitäten nur von einander getrennt, aber nicht fortbewegt werden, und ist vergleichbar mit der Fortpflanzung der Bewegung durch eine beliebig lange Reihe elastischer Kugeln von gleicher Masse, von denen nur die äufserste in demselben Augenblicke abspringt, in welchem die bewegte an dem andern Ende anstöfst, während alle dazwischen befindliche Kugeln ruhend bleiben. Auffallend war für DE LÜC (so heifst es in seinem Aufsatze über die trockene Säule[1]) die aufserordentliche Langsamkeit, mit welcher die eigentliche elektromotoriche Wirkung in seiner Säule vor sich ging, während, wenn blofs ihre Leitungsfähigkeit in Anspruch genommen wurde, sie die El. sehr schnell durch sich hindurchleitete. Der kleinste Grad von Elektricität, den ein isolirter positiv oder negativ elektrisirter Körper dem einen Ende der Säule mittheilte, äufserte sich *augenblicklich* am andern Ende,

1 G. XLIX. 107.

Digitized by Google

war er nur so stark, die Goldblättchen zur Divergenz zu bringen. Wurde dagegen, wenn beide Elektrometer an den Enden der Säule gleich divergirten, das eine mit dem Finger berührt, so dafs die Blättchen daselbst zusammenfielen und die Blättchen des andern stärker divergirten, so verging zuweilen eine geraume Zeit, ehe die Blättchen des ersteren wieder zu ihrer vorigen Divergenz kamen. So langsam pflanzte sich die in dem Apparate ausgebildete el. Flüssigkeit durch die Säule fort. Was DE LÜC im ersten Falle Fortleitung nennt, ist nichts anders, als Wirkung durch Vertheilung, da die Elektricität, die auf das eine Ende eines schlechten Leiters wirkt, die ihr gleichnamige El. thätig und frei macht, gerade so, wie wenn sie ihm mitgetheilt worden wäre.

Dafs jene Schichten von Firnifs, die erst vollends ausgetrocknet wurden, nachdem die Metallplatten schon an einander geklebt waren, doch immer noch einige Feuchtigkeit zurückhalten konnten und darum noch immer mit einigem Momente von Leitungsfähigkeit wirkten, geht aus einem Versuche SCHÜBLER's hervor, welcher eine[1] Säule von 40 Plattenpaaren Zink[1] und Kupfer errichtete, die in der Schmelzhitze durch eine Lage Colophonium mit einander zusammengekittet waren und deren Rand noch mit Harz überzogen wurde. *Diese Säule zeigte auch nicht die allergeringste Spur von Elektricität.* Schon eine leichte Befeuchtung des Randes nach Wegnahme des Harzes war aber schon hinreichend, diese wiederum hervorzurufen.

Indefs scheint noch eine Schwierigkeit der Erklärung nach VOLTA's Principe entgegenzustehn, nämlich die Erhöhung der Thätigkeit der Säule, welche sich sowohl durch einen höhern Grad von Spannung als auch durch die gröfsere Schnelligkeit der Ladung des Condensators offenbart, *in Folge der Erhitzung*, welche den Zwischenleiter, sowohl das Papier als auch in BOHNENBERGER's Versuchen das gekochte Leinöl, *mehr isolirend gemacht zu haben schien.* JAEGER[2] schreibt diese Wirkung einem Vermögen der Wärme zu, kraft dessen sie das wechselseitige Eindringen und die Zerstörung der entgegengesetzten Elektricitäten in den Zwischenleitern der Elek-

1 Schweigger XVI. 115.
2 G. LXII. 248. fg.

Digitized by Google

tromotoren (den Papieren) befördern und erleichtern mufs, vielleicht durch blofses Auflockern der Textur des Papiers oder durch verminderte Adhäsion der elektrischen Flüssigkeiten an dasselbe, oder vielleicht gar durch absolute Vermehrung der Expansibilität der Elektricität, welche letztere Annahme vielleicht selbst zum Theil die gröfsere Spannung, welche eine stark erhitzte getrocknete Säule in Vergleich mit einer nicht künstlich getrockneten und nicht erhitzten Säule zeigt, erklärt, wofür auch die Erfahrung spreche, dafs im luftleeren Raume die Intensität der Elektricität des Pols einer Säule gröfser sey, als in der freien Luft, wovon sich wohl keine andere Ursache angeben lasse, als vermehrte Expansibilität durch aufgehobenen Druck der Luft.

Da wir, und, wie es uns scheint, aus guten Gründen, jenen von JAEGER aufgestellten Unterschied zwischen Durchleitung der El. in einer Richtung und Eindringen entgegengesetzter Elektricitäten von beiden Seiten in das Innere eines Zwischenleiters nicht zugeben können, so können wir die Erklärungsweise der Beförderung der Leitung der Elektricität in der Säule durch die Wärme auch für uns in Anspruch nehmen. Es ist bekannt genug, wie die besten Isolatoren, z. B. Harz, Siegellack u. s. w., durch blofse Erwärmung, besonders wenn sie bis zum Schmelzen getrieben wird, an Isolirungsvermögen verlieren. Sollte das so viel als möglich vollkommen ausgetrocknete Papier, das in der gewöhnlichen Temperatur allerdings ein guter Isolator ist, durch die Erhitzung nicht vielmehr ein guter Leiter werden und durch diese an Leitungsfähigkeit verhältnifsmäfsig mehr gewinnen, als es durch den Verlust an Feuchtigkeit daran verliert? Sollte nicht auch die vollkommenere Isolirung der Pole der Säule, die doch immer entweder durch die Glasröhren, in die sie eingeschlossen werden, oder durch die Seidenschnüre, durch welche die Säulen zusammengebunden sind, mit einander in Verbindung stehn, an dieser Verstärkung der Thätigkeit der Säulen Theil haben, indem Seide und Glas durch Verjagung der Feuchtigkeit, welche hygrometrisch an ihrer Oberfläche adhärirt, durch die Hitze bessere Isolatoren werden und folglich der Abnahme der Polarelektricitäten in Folge ihrer wechselseitigen Ausgleichung mehr Widerstand leisten? Sollte die elektromotorische Kraft der Metalle selbst nicht durch die Wärme bis auf

Digitized by Google

einen gewissen Grad zunehmen? Ein bis auf — 10° R. abgekühltes Plattenpaar von Zink und Kupfer zeigte, wenigstens durch den Condensator, eine geringere Spannung, als in der mittleren Temperatur. Man sieht indefs, dafs noch neue Versuche erforderlich sind, um die Wirkungsart der Hitze in Erhöhung der Säulenthätigkeit vollständig aufzuklären.

E. Anwendung der trockenen Säule.

1) Der wichtigste Nutzen, den man sich im Anfange von der Zamboni'schen Säule versprach, war der, durch das Pendel, das sie in Bewegung setzte und nach der ersten Versicherung[1] ununterbrochen gleichförmig in Bewegung erhalten sollte, eine gleichförmig gehende Uhr sich verschaffen zu können. Ramis in München war wohl der erste, der eine solche elektrische Pendeluhr einrichtete, und schon hatte ein Münchner Blatt (wöchentlicher Anzeiger für Kunst und Gewerbfleifs) den Vorschlag gemacht, solchen elektrischen Pendeluhren den Namen *Ramisuhren* zu geben, um Baiern das Vorrecht der ersten Erfindung gegen das Ausland zu sichern. Einige Monate nachher zeigte schon der Mechanicus Buzengeiger in Tübingen dem Könige von Würtemberg eine mit dem elektrischen Pendel verbundene Vorrichtung, welche eine mit Secunden-, Minuten- und Stundenzeiger verbundene Uhr bildete. Das kreisrunde, einen Zoll tiefe Uhrgehäuse ruhte völlig isolirt auf einer massiven Glasstütze und an diesem Gehäuse hing das elektrische Pendel frei herab. Das untere mit einer hohlen silbernen Kugel versehene Ende desselben schwang zwischen zwei Metallglocken hin und her, welche von lackirten Glasröhren getragen waren, die auf dem Fufsgestelle standen. Die Säulen lagen in dem Kasten des Fufsgestelles verborgen und die Drähte, welche ihre Pole mit den Glocken verbanden, gingen durch jene Glasröhren. Die Achse des Pendels befand sich in dem Uhrgehäuse, und über und unter ihr trug die Pendelstange einen beweglichen Hebel, deren Enden bei den Schwingungen des Pendels schiebend in die Zähne eines Steigrades eingriffen, welches dann das übrige sehr einfache Räderwerk bewegte.

Ungefähr damit übereinstimmend, doch noch zusammen-

1 G. L. 189.

Digitized by Google

gesetzter, war die elektrische Pendeluhr, welche Klingert in Breslau ausführte und wovon eine Beschreibung und Abbildung sich in Gilbert's Annalen[1] findet.

Aber sehr bald überzeugte man sich, dafs der Gang des Zamboni'schen Pendels durchaus nicht gleichförmig ist, dafs also wenigstens keine Verbesserung der Uhren von demselben zu erwarten sey und solche Einrichtungen also höchstens nur den Vortheil gewähren konnten, die etwaigen Schwankungen, Ebben und Fluthen in der Entwickelung der El. der Säule durch die Zahl der Schwingungen des Pendels in einer gegebenen Zeit genauer abmessen zu können. Leider sind zum Verdrusse der Liebhaber nach Monaten oder wenigstens nach Jahren alle diese Glockenspiele und Pendeluhren zum Stillstande gekommen[2].

2) Eine zweite sehr nützliche Anwendung der Zamboni'schen Säule war zur Verfertigung eines sehr empfindlichen *Elektrometers*, dessen Angabe wir Bohnenberger in Tübingen verdanken und von welchem bereits an seinem Orte[3] geredet worden ist.

3) Eine dritte sehr sinnreiche Anwendung der trockenen Säule hat Rousseau zur vergleichenden Bestimmung des sehr geringen Leitungsvermögens verschiedener, zu den Isolatoren gehöriger Körper gemacht, worüber bereits das Nähere angegeben worden ist[4].

4) Bohnenberger hat auch die trockene Säule als vorzüglich geeignet empfohlen, um dadurch die condensirende Kraft

---

1 LIII. 342.

2 Muncke sah im Herbst 1823 bei Zamboni selbst eine solche seit vielen Jahren gehende Uhr. Bei dieser wurde durch mehrere verbundene Säulen aus Silberpapier und mit Milch aufgetragenem Kohlenpulver von etwa 1,5 Zoll Durchmesser ein Centrifugalpendel in steter Bewegung erhalten, welches die Räder der Uhr bewegte, deren regelmäfsiger Gang jedoch durch ein zweites gewöhnliches Pendel regulirt wurde, worauf dann der richtige Gang der Uhr beruhte. Chevalier in Paris verfertigt kleine Carrouselle, die durch zwei Zamboni'sche Säulen mit grofser Schnelligkeit umlaufen; sie sind jedoch nicht von langer Dauer.

3 S. *Elektrometer*. Bd. III. S. 371.

4 S. *Elektricität*. Bd. III. S. 192.

Digitized by Google

eines jeden Condensators zu messen, wie auch bereits[1] näher auseinandergesetzt worden ist.

5) Da die Zamboni'sche Säule wenigstens einige Wochen hindurch ihre Spannung unverändert beibehält und dieselbe, wenn ein isolirter Leiter von geringer Oberfläche mit den Polen in Berührung kommt, sie augenblicklich wieder herstellt, so kann sie sehr gut dazu benutzt werden, das Gesetz, nach welchem sich die Stärke der elektrischen Anziehungs- und Zurückstofsungskraft der Elektricität im Verhältnisse der Entfernung verändert, genauer zu messen, und eben zu diesem Zwecke hat Yelin[2] sich derselben bedient.

P.

Säure.

Acidum; Acide; *Acid.* Unter Säure versteht man eine Classe von Verbindungen, welche mehr oder weniger folgende Eigenschaften zeigen: den Salzbasen, besonders den Alkalien, entgegengesetzt, mit grofser Affinität gegen dieselben begabt, bei der Verbindung mit ihnen ihre basischen Charaktere aufhebend und sich aus dieser Verbindung im Kreise der Volta'schen Säule am positiven Pole abscheidend, im Wasser löslich, von saurem Geschmack und oft von ätzender Wirkung auf organische Körper, Lackmus röthend und überhaupt organische Farben den Alkalien entgegengesetzt verändernd. Die Säuren werden in unorganische und organische eingetheilt; erstere zerfallen je nach ihrem Gehalte an Sauerstoff oder Wasserstoff in die Sauerstoff- und Wasserstoffsäuren, oder, je nachdem der mit dem Sauerstoff oder Wasserstoff verbundene Körper, das Säure-Radical, nicht metallisch oder metallisch ist, in Mineral- und Metallsäuren; die organischen Säuren sind theils stickstofffrei (vegetabilische), theils stickstoffhaltige (thierische).

G.

Salze.

Sales; Sels; *Salts.* Unter diesem Namen verstanden

1 S. *Condensator.* Bd. II. S. 243.

2 Dessen Versuche und Beobachtungen zur nähern Kenntnifs der Zamboni'schen trocknen Säule. S. 28 fg.

Digitized by Google

die älteren Chemiker in Wasser lösliche und mit Geschmack begabte Materien. Sie theilten sie in *saure Salze* (die jetzigen Säuren), in *Laugensalze* (die jetzigen Alkalien), in *Neutralsalze* (Verbindungen der Säuren mit Alkalien), in *Mittelsalze* (Verbindungen der Säuren mit Erden) und in *Metallsalze* (Verbindungen der Säuren mit schweren Metalloxyden).

Die neuere Chemie versteht unter Salzen alle Verbindungen der Säuren mit den Salzbasen, sie seyen im Wasser löslich und mit Geschmack begabt oder nicht. Neuerdings hat jedoch dieser Begriff der Salze nachfolgende Erweiterungen erhalten: 1) durch Vermischen der wässerigen Salzsäure mit wässerigem Natron erhält man eine Flüssigkeit, in welcher man die Gegenwart eines Salzes, des salzsauren Natrons, annehmen kann, die jedoch beim Abdampfen Kochsalz liefert, d. h. eine Verbindung von Chlor und Natrium. Da also in festem Kochsalze keine Salzbasis und keine Säure mehr vorhanden ist, sondern blofs Metall und Chlor, so kann dieser Körper, von welchem gerade der Name Salz herrührt, nach der obigen Festsetzung des Begriffs nicht mehr als ein Salz betrachtet werden. Ebenso verhalten sich auch die übrigen Verbindungen der Wasserstoffsäuren mit den Metalloxyden. Um nun doch die Fluor-, Chlor-, Brom-, Iod- und Cyanmetalle als Salze betrachten zu können, nennt Berzelius das Fluor, Chlor, Brom, Iod und Cyan *Salzbilder*, denen das Vermögen zukomme, ein Metall unmittelbar in ein Salz zu verwandeln. Uebrigens wird mit Annahme dieser Ansicht jede Definition von Salz unmöglich. 2) In den Salzen der Metallsäuren sind 2 oxydirte Metalle mit einander vereinigt, es giebt aber ganz analoge Verbindungen, in welchen der mit den beiden Metallen verbundene Sauerstoff durch Chlor, Iod, Schwefel, Cyan u. s. w. vertreten ist. So entspricht dem arseniksauren Kali die Verbindung von Schwefelarsenik mit Schwefelkalium u. s. w. Man kann hierin das Schwefelarsenik als die Säure und das Schwefelkalium als die Basis betrachten und auf diese Weise aufser den Sauerstoffsalzen auch Chlorsalze, Iodsalze, Schwefelsalze u. s. w. unterscheiden. Man sieht, dafs es, um diese ebenfalls von Berzelius herrührende und von Bonsdorff erweiterte Ansicht der obigen Definition entsprechend zu finden, blofs darauf ankommt, den

Digitized by Google

Begriff von Säure und Salzbasis etwas weiter zu nehmen, als es gewöhnlich der Fall ist.

G.

Saturn.

Saturn, oder auch Chronos, ist der Name des vorletzten bekannten Planeten in unserm Sonnensystem. Er ist von blassem, ins Bleigraue fallendem Lichte, nicht heller, als die gewöhnlichen Sterne erster Gröfse. Durch mittelmäfsige Fernröhre betrachtet bietet er die sonderbare Gestalt einer gleichsam mit zwei Henkeln versehenen Kugel dar, und so erschien er auch im J. 1612 dem Galilei und zwanzig Jahre später dem Gassendi. Der fleifsige Hevelke bemerkte das Veränderliche dieser Gestalt, die ungleiche Oeffnung dieser Henkel und ihr zuweilen eintreffendes gänzliches Verschwinden. Erst im J. 1659 gelang es Huyghens, das Räthsel zu entwirren und zu zeigen, dafs diese anomalen Erscheinungen von einem grofsen platten Ringe hervorgebracht werden, welcher als ein vom Planeten getrennter Körper denselben umgiebt und je nach seiner Stellung gegen die Erde sich bald in einer beträchtlichen Flächen-Ausdehnung, bald wie eine schmale verschwindende Linie, in seinen mittlern Neigungen aber als eine mehr oder weniger breite Ellipse darstellt. Da der Ring eine höchst geringe Dicke hat, so verschwindet er aufser diesen, durch seine Lage gegen die Erde bedingten Fällen, auch dann zumal, wenn seine Ebene durch das Centrum der Sonne geht, da dann diese nicht seine platten Seiten, sondern nur die schmale Kante beleuchtet. Zwischen dem Ringe und dem Hauptkörper bemerkt man einen dunkeln Zwischenraum, etwa $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser des Saturn, durch welchen schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts der durch seine Astrotheologie bekannte Derham kleine Sterne erblickte, und mit guten Fernröhren nimmt man auch auf der Fläche des Ringes einen schwarzen Kreis wahr, den schon Dom. Cassini im J. 1684 entdeckt hatte, welcher den Ring in zwei concentrisch erscheinende Ringe theilt. Der Umstand, dafs der Ring einen bestimmten Schlagschatten auf die Saturnskugel wirft, beweist, dafs es ein undurchsichtiger, gleich dem Planeten von der Sonne erleuchteter Körper sey. Saturn hat überdem

Digitized by Google

sieben Monde zu Begleitern, deren nähere Beschreibung im Art. *Nebenplaneten* gegeben worden ist.

„Mit diesen Eigenthümlichkeiten und diesem Gefolge bildet," wie Herschel[1] sich ausdrückt, „Saturn eine der reich„haltigsten und aufserordentlichsten Erscheinungen am Him„mel. Eine prächtige Kugel von einem staunenswürdigen dop„pelten Ringe umfafst, begleitet von sieben Satelliten, geziert „mit Streifen um den Aequator; zusammengedrückt an den „Polen, sich umdrehend um ihre Axe; wechselsweise verfin„sternd ihren Ring und Trabanten und von ihnen verfinstert; „der äufserste Ring ebenfalls um seine Axe sich wälzend, so „wie der fernste der Trabanten; alle Theile des Saturnsystems „nach Umständen einander Licht zuwerfend; die Ringe und „Monde erhellend die Nächte des Saturnsbewohners; die Ku„gel und Trabanten beleuchtend die dunkeln Theile des Rin„ges; Planet und Ringe rückwärts die Monde mit dem reflec„tirten Lichte der Sonne bestrahlend, wenn sie zur Zeit ihrer „Conjunctionen desselben beraubt sind."

Die Elemente dieses Planeten für den 1. Jan. 1801 sind folgende[2]:

Mittlere Distanz v. der Sonne in Halbmessern d. Erdbahn	9,538786, oder 197 Millionen geograph. Meilen. (197 138 092)
Mittlere siderische Umlaufszeit in mittlern Sonnentagen	10759, 2198 od. 29 J. 166 T. 19 St. 4 M. 13 S.
Excentricität in Theilen der halben Axe	0,0561505.
Neigung der Bahn	2° 29′ 35″,7.
Länge des aufsteigenden Knotens	111° 56′ 37″,4.
Länge des Periheliums	89° 9′ 29″,8.

1 In s. Abhandlg. über die Gestalt des Saturns, Phil. Trans. f. 1805. II. 272.

2 Nach Herschel Sohn aus dessen treatise on Astronomy p. 416. Bessel (Schum. Astr. Nachr. No. 195.) giebt die Masse = 285,940 an. Die Dichtigkeit des Saturns ist nur etwa $\frac{1}{8}$ der Dichtigkeit der Erde, so dafs die Saturnskugel aus Stoffen bestehn mufs, die nicht schwerer sind als Tannenholz.

Digitized by Google

Mittlere Länge des Planeten für obigen Zeitpunct	135° 20′ 6″,5.
Masse in Milliontheilen der Sonnenmasse	284,738.
Aequatoraldurchmesser in Erddurchmessern	9,987 oder 17166 geographische Meilen.

Von der Erde aus gesehn, in der mittlern Entfernung von derselben, erscheint dieser Durchmesser unter einem Winkel von 17,99 Sec.[1]. Die Sonne zeigt sich daselbst unter einem Winkel von etwa 3½ Minuten und die Stärke ihres Lichts beträgt $\frac{1}{91}$ von derjenigen auf der Erde. Dafs man daselbst von den Planeten Mercur und Venus etwas wisse, ist kaum zu vermuthen, da selbst die Erde vom Saturn aus gesehn sich höchstens 6 Grade von der Sonne entfernen kann. Die Oberfläche Saturns ist mit ähnlichen Streifen wie Jupiter umzogen, die mit der Ebene des Ringes parallel gehn; ihre Richtung scheint mithin diejenige des Aequators anzudeuten und sie stimmt auch mit derjenigen des gröfsern Durchmessers überein[2]. Die Gestalt des Saturn zeigt nach Herschel keineswegs eine so regelmäfsige Abplattung wie Jupiter; sie gleicht Fig. 26. mehr einem an den Ecken abgerundeten sphärischen Rectangel und zeigt sich wie der Ueberrest einer weit stärkern Abplattung, von welcher ein bedeutender Theil der Aequatorzone sich losgerissen hätte[3]. Man hat diese anomale Gestaltung aus einer Refraction der Saturnsatmosphäre erklären wollen. Allein es hält schwer, sich von der Stärke und Permanenz einer solchen Verzerrung und noch mehr von der Willkür ihrer Richtung einen Begriff zu machen. Herschel setzt die geographische Breite der Puncte, zwischen welchen der scheinbare Durchmesser des Planeten am gröfsten ist, in 43° 20′; warum sollte die Refraction gerade in dieser Richtung am stärksten ausdehnend oder an der Aequatorealzone zusammenzie-

1 Nach Struve (Schum. Astron. Nachr. No. 139.). Herschel hatte ihn 22″,81 gefunden. Schröter machte ihn = 18″,075; Bessel 17″006. Den Polardurchmesser setzte Herschel = 20″61, Bessel = 15″,674.

2 Neuere Beobachtungen von Schwabe scheinen dieses zweifelhaft zu machen. Schum. No. 239.

3 Unsere Figur ist eine gewissenhafte Copie von derjenigen, die Herschel in den Philos. Trans. f. 1805 gegeben hat.

Digitized by Google

hend wirken? Bequemer noch ist die Aushülfe derjenigen, die, was nicht in ihre angenommenen Vorstellungen paſst, geradezu bezweifeln. Allein bei einem Beobachter wie Herschel läſst sich ein solches Argument nicht anbringen. Er selbst ging bei dieser Wahrnehmung nicht leichtsinnig zu Werke. Eingenommen von der Idee, daſs Saturn gleich dem Jupiter ein Sphäroid sey, hatte er im J. 1789 sich begnügt, den Aequatoreal- und Polardurchmesser zu messen, ohne einen Gedanken an eine andere Eigenthümlichkeit zu haben, und wenn ihm zuweilen die Gestalt dieses Körpers etwas unregelmäſsig vorkam, so wurde das der Unterbrechung des Ringes zugeschrieben, der die Ansicht des vollen Umfangs verhinderte. Erst als Herschel im Frühjahr 1805, einen neuen zehnfuſsigen Reflector durchprobirend, auch den Saturn betrachtete, fiel ihm jene Abweichung bestimmter in die Augen[1]. Vom April bis Juni d. J. verfolgte er nun die gemachte Wahrnehmung mit allen Werkzeugen seines optischen Vorraths, mit Reflectoren von 7, 10, 20 und selbst mit dem von 40 Fuſs, bei 300- bis 600maliger Vergröſserung. Ueberall die gleiche Erscheinung! Oefters wiederholte Messungen gaben die Stelle des gröſsten Durchmessers in 46, 45 und 43 Grad der Breite. Bei reiner Luft den Saturn im Meridian betrachtend, sehr oft auch mit dem benachbarten Jupiter ihn vergleichend, spricht er in seinem Tagebuche wiederholt die Ueberzeugung aus: „Saturn ist gewiſs kein Sphäroid wie Jupiter; die gröſste Con„vexität liegt in einer hohen Breite; über jene Gestalt ist kein „Zweifel mehr. Sie bildet ein Viereck oder vielmehr ein „Parallelogramm (Rectangel), dessen Ecken tief abgerundet „sind, doch nicht bis zum Sphäroid; ich seh' es vollkom„men."

Eine Zeichnung, die Herschel nach den Messungen vom J. 1789 gemacht hatte, bedurfte nur einer geringen Reduction an den Stellen des gröſsten Durchmessers, um das im Teleskop gesehene Bild mit aller der Genauigkeit darzustellen, deren das Auge in der Beurtheilung solcher Gegenstände fähig ist. Auf die Ursache dieser merkwürdigen Gestaltung läſst Herschel sich nicht ein, sondern bemerkt nur im Vorbeigehn, daſs die Verflachung an den Polen ein Sphäroid andeute, dessen ei-

1 Philos. Trans. f. 1805. pt. II. p. 272.

Digitized by Google

gentliche Gestalt durch irgend eine äufsere Ursache, vielleicht die Anziehung des Ringes, gestört worden sey.

Herschel hatte im J. 1793 seine Aufmerksamkeit auf fünf Streifen gerichtet, zwei helle und drei dunkle, die von der Aequatorealzone gegen den Pol sich erheben. Sie ziehn sich rund um die Saturnskugel, doch wechseln sie an Helligkeit und Schärfe, und einige Stellen zeigen eine bestimmte bleibende Verschiedenheit. Diese eigneten sich vorzüglich zur Bestimmung der Umdrehungszeit. Der vorsichtige Beobachter widmete dieser Untersuchung die Nächte vom 11. Nov. 1793 bis 16. Jan. 1794. Es ergab sich daraus eine Axendrehung von 16 St. 16′ 44″. Das Ganze umfafste 154 Umdrehungen. Herschel fand, dafs, wie das am Mars bemerkt wird, die Polarzonen, wenn sie lange den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen waren, weniger glänzend erschienen, als zur Zeit ihres Frühlings, was auf eine partielle Schneeschmelzung hindeuten möchte. Ueberhaupt war die Helligkeit der Polarzone ungleichförmig, es zeigten sich in derselben dunkle verwaschene Flecken von veränderlicher Natur, die wohl für ein atmosphärisches Erzeugnifs gelten konnten. Ebenso war eine starke Refraction, mithin auch eine Atmosphäre unverkennbar; die Satelliten, wann sie hinter den Planeten traten, schienen lange an der Saturnsscheibe zu kleben, ehe ihr Licht verschwand.

Die merkwürdigste und eigenthümliche Erscheinung bleibt jedoch der bereits erwähnte *flache dünne Ring*. Herschel hatte seinen Durchmesser zu dem der Saturnskugel wie 7:3 gesetzt und genaue mikrometrische Messungen der einzelnen Theile gegeben. Struve in Dorpat hat im Febr. und März 1826 diese Ausmessungen mit dem Filarmikrometer des 10-fufsigen Refractors von Fraunhofer auf neue durchgenommen; sie geben, auf die mittlere Entfernung des Saturn reducirt, folgende Werthe[1]:

1 Ich habe hier die Angaben von Herschel's Mikrometer auf Struve's Messung des gröfsten Ringdiameters übergetragen; Herschel selbst giebt diesen 46″,6 statt 40″,22. Bessel in s. gelehrten Abhandlung über d. Bahn des Hugenischen Saturnstrabanten (Schum. Astron. Nachr. Th. X. No. 194.) zeigt, dafs Herschel in Folge einer Eigenthümlichkeit des 40fufsigen Reflectors den Saturn wirklich *gröfser ge-*

Digitized by Google

	Nach Struve.	Nach Herschel.
Aeufserer Durchmesser des äufs. Ringes	40″,22	40″,22
Innerer Durchmesser des äufs. Ringes	35,40	37,5
Aeufserer Durchmesser d. innern Ringes	34,58	36,4
Innerer Durchmesser des innern Ringes	26,75	28,6
Aequatorealdurchm. d. Saturn	18,05	17,5
Breite des äufsern Ringes	2,41	1,36
Breite der Spalte	0,41	0,56
Breite des innern Ringes	3,92	3,90
Abstand des Ringes vom Saturn	4,35	
Neigung der Ringebene gegen die Ekliptik	28° 6′	
Lage seiner Knoten	170° u. 350°.	

Auffallend ist hier die genaue Uebereinstimmung beider Beobachter für die Breite des innern Ringes und die merkliche Verschiedenheit für die Breite das äufsern. Herschel's Messungen sind vom October 1791, Struve's vom Februar 1826. Sollte in 35 Jahren eine Veränderung statt gefunden haben? Im März 1828 hatte Professor Schwabe in Dessau gefunden, dafs der Saturnsring nicht concentrisch mit der Kugel sey, sondern dafs Saturn im Ring etwas westlich liege. Harding, Schumacher und Struve fanden das Nämliche und der letztere bestimmt durch Messungen mit dem Fraunhofer'schen Achromaten den Zwischenraum auf der Ostseite zu 11″,073, auf der Westseite zu 11″,288. Auch Bessel fand aus seinen Untersuchungen über den sechsten Saturnstrabanten, dafs der Mittelpunct der äufsern Begrenzung des Ringes ebenfalls östlich von dem des Planeten liege. Herschel Sohn und South haben zwar durch ihre Messungen keinen Unterschied erkannt, halten aber denselben dennoch für augenscheinlich[1]. Bessel[2] findet eine Excentricität

---

sehn habe, was vielleicht der grofsen Lichtstärke jenes Instrumentes zugeschrieben werden kann.

1 Astron. N. IX. No. 183. p. 14.

2 Eine förmliche Bestätigung erhält diese Wahrnehmung durch

Digitized by Google

des Ringes mit unsern gegenwärtigen Ansichten nicht vereinbar; man müfste, glaubt er, dabei voraussetzen, entweder dafs der Ring sich nicht um seine Axe drehe, oder dafs er aus unzähligen sich frei bewegenden Theilen bestehe, deren Bahnen eine gemeinschaftliche Apsidenlinie haben.

Der jüngere Herschel[1] hingegen hält diese Excentricität gerade für eine Erhaltungsbedingung des Ringsystems. Wären die Ringe genau kreisförmig und mit dem Planeten concentrisch, so würden sie, trotz aller Centrifugalkraft, ein *unstabiles Gleichgewicht* bilden, das durch die geringste äufsere Ursache gestört werden könnte; der Ring würde dadurch nicht etwa an irgend einer Stelle gebrochen, sondern in Masse auf den Planeten niedergerissen werden. Die geringste Verrückung des Hauptkörpers aus dem Centrum des Ringes würde ihn einer Seite desselben näher bringen und diese Annäherung würde zunehmend seyn. Dafs Kräfte dieser Art von einer combinirten Wirkung der Trabanten ausgehn könnten, wäre nicht schwer zu beweisen. Um also dem Systeme des Ringes die nöthige Stabilität zu verschaffen und jede anfängliche Störung unwirksam zu machen, genügt es, ihm selbst eine oscillatorische Bewegung zu ertheilen, die von irgend einer ungleichen Vertheilung der Masse im Ringe ausgehn mag; diese periodische Bewegung wirkt dann ähnlich, wie die Kreisbewegung, die ein Mann, der eine lange Stange in verticaler Richtung balancirt, mit seinem Finger beschreibt. Auf diesem beständigen Kampfe von erhaltenden und zerstörenden Kräften, der jede Anhäufung einer einseitigen Wirkung abwehrt, beruht die Sicherheit dieses Gebäudes, und eben seine Unveränderlichkeit liefert auch den Beweis, dafs der Ring unter

---

ein Citat aus den Actis Eruditorum pro anno 1684. p. 424. (und in dem Auszug von Venedig von 1740. Tom. I. pag. 259.), welches Vieth in den Astron. Nachrichten No. 260. beibringt. In dem Systema phaenomenorum Saturni autore Galletio, proposito ecl. Avenionensis, findet sich folgende Stelle: „Nonnumquam corpus Saturni *non exacte annuli medium obtinere* visum fuit: id quod semper accidit, quoties planeta quadrato aspectui cum Sole proximus est, quoniam tum parallaxis orbis sensu percipi potest. Hinc evenit, ut, quum planeta orientalis est, centrum ejus extremitati orientali annuli propius videatur, et *major* pars ab occidentali latere fit cum ampliori obscuritate.“

1 Treat. on Astronomy. p. 286.

Digitized by Google

dem ganzen Einflusse der ihn umgebenden Kräfte, also, nachdem Saturn mit seinem ganzen Gefolge von Satelliten bereits in seiner Bahn um die Sonne sich bewegte, gebildet worden sey.

Auch Laplace[1] hatte schon früher sich dahin ausgesprochen, dafs die Saturnsringe durch die blofse Cohärenz ihrer Molecülen sich nicht halten könnten, die dem Planeten nähern Theile würden durch den unaufhörlichen Zug der Schwere sich losgemacht und so die allmälige Zerstörung des Ringes herbeigeführt haben.

Es bedarf also nothwendig des Umschwungs um eine Axe, die durch das Centrum des Planeten geht. Ueberdem mufs der Ring eine ungleiche Breite oder Dicke haben, eine Eigenschaft, die auch wirklich durch die Beobachtungen indicirt wird. Wäre er in allen seinen Theilen vollkommen gleich, so wäre die kleinste Kraft, z. B. die Anziehung eines Trabanten, hinreichend, sein Gleichgewicht zu stören, und der Ring würde am Ende auf den Planeten hinunterstürzen.

Früher glaubte man nach einer von Short mit einem 12fufsigen Reflector gemachten Beobachtung, dafs der Ring in mehrere concentrische Kreise getheilt sey. Herschel's genaue Beobachtungen haben jedoch diese Meinung als ungültig erwiesen; der Ring besteht nur aus zwei Theilen; die frühern Beobachter wollten beide Theile in *gleicher Gröfse* gesehn haben, da jedoch ihre Angaben auf keine Messungen sich gründen, so können sie nicht mit den spätern in Vergleichung gesetzt werden, um so mehr, da Herschel den Unterschied der Breite der Ringe geringer macht, als die neuern Beobachtungen.

Das Auffallendste ist die *höchstgeringe Dicke* des Ringes. Im J. 1789, als die Erde sich in der Ebene des Saturnsringes befand, erschien dieser als ein feiner Faden, an welchen die Trabanten wie Perlen angereiht waren. Die feine Lichtlinie schien kaum den vierten Theil des scheinbaren Durchmessers eines Trabanten, den Herschel auf 1 Secunde schätzte, einzunehmen. Dieſs gäbe doch noch eine Dicke von 239 geographischen Meilen. Schröter mafs im Junius 1803

1 Exposition du système du monde. 3me Éd. 4. p. 254.

Digitized by Google

den Schatten dieser Linie auf dem Planeten und leitete daraus die scheinbare Dicke des Ringes auf $0'',126 = 120$ geograph. Meilen ab. Sir John Herschel will ihn nicht über 100 engl. Meilen d. h. etwa 22 geographische annehmen und Bessel bestimmt ihn aus der Masse der Ringe, die er $= \frac{1}{11\,8}$ setzt, zu 29,7 geograph. Meilen, vorausgesetzt, dafs Ring und Saturn von einerlei Dichtigkeit und die Masse gleichförmig vertheilt sey.

Der Ring selbst zeigt ein helleres, weifseres Licht, als der Saturnskörper. Herschel überzeugte sich hiervon, indem er beide Gegenstände mit immer stärkern Vergröfserungen betrachtete. Bei einer 500maligen Vergröfserung des siebenfufsigen Teleskops nahm die Kugel eine gelbliche Farbe an, während der Ring weifs blieb. Den äufsern Ring fand Herschel minder hell, als der innere zunächst an der Theilungslinie war. Dieser war von der Mitte seiner Breite an lichtschwächer und erschien an der innern Kante beinahe von derselben Farbe, wie der dunkle Theil des fünffachen Streifens. Den Beobachtungen zufolge, welche im December 1832 von Schwabe und im April 1833 von Valtz gemacht worden sind[1], scheint der Ring nicht überall die gleiche Dicke zu besitzen, indem er nach dem Verschwinden auf der einen Seite des Planeten weit früher sichtbar war als auf der andern.

Man hatte auf dem Ringe, während er dem Verschwinden nahe war, einzelne Lichtpuncte bemerkt, die man für Erhöhungen am Körper des Ringes selbst halten konnte. Schon Messier[2] hatte solche Puncte, die am Lichtfaden des Ringes wie Perlen angereiht waren, gesehn; ebenso neuerdings Bianchi und Santini in Padua. Messier und Büffon erklärten sie geradezu für Bergspitzen. Herschel, dem die Annahme von Bergen, die auf 200 Millionen Meilen noch sichtbar wären, nicht einleuchten wollte, bemühte sich zu zeigen, dafs diese Puncte wohl nur Trabanten seyn könnten, deren Bahn-Ebene mit derjenigen des Ringes zusammen fiele. Wirklich konnten mehrere solcher Beobachtungen durch diese Annahme erklärt werden. Es blieben jedoch noch mehrere vor-

1 Schum. Astr. Nachr. No. 230. und Bibl. Univ. Avril. 1834.
2 Mém. de Berlin. 1776.

Digitized by Google

züglich helle Puncte übrig, deren Bewegung, wenn sie abgesondert von den übrigen in Rechnung gezogen wurde, einem Körper anzugehören schien, welcher in 10 Stunden 32 M. 15 Sec. um den Saturn lief. Aus der Umlaufszeit liefs sich nur sein Abstand vom Planeten nach bekannten Regeln berechnen, und da ergab sich, dafs dieser Körper in den Ring selbst fiel, mithin einen Theil desselben ausmache, oder dafs jene Umlaufszeit wirklich diejenige des Ringes selbst sey.

Gegen diese mit grofser Vorsicht, Bescheidenheit und Wahrheitsliebe durchgeführte und durch 300 Rotationen bestätigte Ermittelung einer Umlaufszeit des Ringes erhob sich Schröter im J. 1803, und glaubte aus Beobachtungen, die er bei dem damaligen Verschwinden desselben angestellt hatte, die Behauptung aufstellen zu können, dafs der Ring gar keine Axendrehung habe, sondern in beständiger Ruhe sey. So unwahrscheinlich es war, dafs ein so schmales und hohes Gewölbe ohne alle Schwungkraft sich sollte halten können, so beharrlich widersetzte sich Schröter allen Erklärungen, die dem Resultate seiner Beobachtungen, das er für mathematisch sicher erklärte, eine andere Wendung zu geben drohten. In der Connaiss. des tems. v. J. 1811 suchte Laplace den Streit zu lösen, fand aber in der Voraussetzung, dafs der Ring aus vielen abgesonderten concentrischen Ringen bestehe, die nämliche Umlaufszeit wie Herschel. Seither ist die ganze Angelegenheit liegen geblieben und der Ueberzeugung jedes Einzelnen überlassen worden. Die zunehmende Verbesserung der Fernröhre und der Fleifs der heutigen Beobachter wird wohl auch diesen Punct — vermuthlich im Sinne Herschel's — zur Entscheidung bringen[1]. Merkwürdig ist die Wahrnehmung von Valtz vom 23. April 1833, dafs nämlich die Ringebene die Saturnsscheibe keineswegs halbirt, sondern dafs die nördliche Halbkugel merklich gröfser erscheint, als die südliche. Der Schwerpunct des Saturnskörpers würde demnach nicht mit dem Mittelpuncte seiner Figur zusammenfallen und die beiden Halbkugeln wären von sehr ungleicher Dichtigkeit. Auch

1 Eine umständliche treffliche Beleuchtung dieses Streites, in welcher mit aller Schonung der Gegner die Vorzüge der Herschel'schen Bestimmung in ihr volles Licht gesetzt werden, findet sich in Brandes Briefen über die vornehmsten Lehren der Astronomie. Th. III. S. 333. u. folgg.

Digitized by Google

Schwabe hatte im J. 1832 bemerkt, dafs der Ring dem Aequator des Planeten nicht genau parallel war, sondern auf der Ostseite ein wenig nach Norden, auf der Westseite nach Süden sich neigte.

Die Erscheinungen, die dieser erleuchtete Bogen von 1007 geograph. Meilen Höhe auf dem Saturn darbieten mufs, sind allerdings merkwürdig; doch erstrecken sie sich nur auf die heifse und die gemäfsigte Zone; den Polargegenden bleibt er unter dem Horizonte und wird erst etwa in der Breite von 60° an seinem obern Theile sichtbar. Unter dem 45. Grade tritt auch seine untere Kante um ein Paar Grade über den Horizont hervor, und seine Fläche nimmt daselbst am Himmel einen Bogenstreif ein, der etwa 18 Grade breit ist. Im Solstitium liegt die von der Sonne abgewendete Hemisphäre von 16° der Breite an bis zu 62° im Schatten des Ringes; nach einigen Monaten, wenn die Abweichung der Sonne um etwa einen halben Grad sich vermindert hat, tritt die Sonne über die obere Kante des Ringes, der dort fast ganz unter dem Horizont ist, hervor und von der Polarzone her breitet sich täglich das Sonnenlicht mehr in der gemäfsigten Zone aus. Der Ringschatten wird schmäler und rückt immer mehr dem Aequator zu, bis er nach 14¾ Jahren auf demselben nur eine Schattenlinie bildet, die schwerlich über 50 geographische Meilen Breite hat. Von jetzt an erscheint dieser Halbkugel der Ring beständig von der Sonne erleuchtet, zuweilen in einigen Kreisen der heifsern Zone mit blendendem Reflex. Selbst nach dem Untergehen und vor dem Aufgange der Sonne bleibt ein Theil des Ringes von der Sonne bestrahlt; nur um Mitternacht ist der gröfsere Theil desselben im Schatten des Hauptkörpers. So werden während des fast 15jährigen Sommers jene Regionen der hellsten Tage, die nur durch eine fünfstündige Nacht unterbrochen werden, geniefsen, während ihre Nächte vom Schimmer des Ringes erleuchtet sind. Auf diese Weise ersetzt eine fast ununterbrochene mehrjährige Helligkeit jene 10- bis 12jährige Nacht, die nur vom wohlthätigen Glanz der sieben Monde gemildert wird. Wenn auch eben dieses siebenfachen Mondenlichts wegen die Thätigkeit der Saturnsbewohner weniger Störung erleidet, als wir bei einer so langen Umnachtung uns denken mögen, so mufs doch die vegetabilische Welt diese dauernde Beraubung des Son-

Digitized by Google

nenlichtes auf eine Weise empfinden, die in ihr Leben eine Modification bringt, von der wir uns keinen Begriff machen können. Nichts zu sagen von dem Unterschiede der Jahreszeiten in Beziehung auf die Temperatur, der, wenn etwa eine dichtere Atmosphäre die Quelle der Wärmeentwickelung seyn sollte, dort nur um so bedeutender seyn mufs.

Woraus besteht nun aber dieses in seiner Art einzige Gebäude eines nahe 600 geographische Meilen (mehr als 3 Millionen Fufs) breiten und etwa 400000 Fufs dicken freischwebenden Ringes? So weit unser Auge die Gestalten der Himmelskörper erkennen mag, sind alle kugelförmig gebildet, und selbst unsre Erde, die wir als festen Körper kennen, hat eben diese Form. Sollte der Saturnsring in seiner ganzen anomalen Gestaltung ebenfalls ein fester Körper seyn? Ich glaube es nicht. Vielmehr halte ich ihn für eine durch Centrifugalkraft von dem Planeten losgeschleuderte Wassermasse in dunstförmiger Gestalt, für einen *Wolkenzug*. Nur eine so leicht verschiebliche Masse dieser Art konnte und mufste das Maximum der Abplattung, die Gestalt einer ganz platten durchbrochenen Linse oder einer Scheibe annehmen. Schon das glänzendere, hellere Weifs in Vergleichung zum Saturnskörper deutet auf eine Verschiedenheit der Stoffe, und kaum dürfte es aufser dem Schnee etwas Helleres geben, als eine von der Sonne beschienene Wolke. Man hat zwar die Schwärze des Ringschattens auf dem Saturn und diejenige des letztern auf dem Ringe als Kennzeichen seiner körperlichen Solidität aufgestellt, allein die nämliche Undurchdringlichkeit für die Lichtstrahlen würde auch bei unserer Annahme statt finden. Vermag doch auf unserer Erde, wo die Intensität des Sonnenlichts fast hundertmal gröfser ist, eine Wolkenschicht von nur 600 bis 1000 Fufs Dicke die Sonnenstrahlen gröfstentheils aufzuhalten, so dafs sie einen kräftigen Schlagschatten wirft. Wie vielmehr sollte eine wenigstens 400mal dichtere Wolkenwand es zu thun vermögen. Auch die Schatten der Personen in den bekannten Nebelbildern auf hohen Bergen schneiden sich auf der gegenüberstehenden Wolke mit aller Deutlichkeit ab. Unsre Erde zeigt sich uns als ein Conglomerat von gröfsern und kleinern Steinen, vom Sandkorn bis zur Masse des Montblanc oder des Himalaja-Gebirges; wie tief diese wurzeln, wissen wir nicht, nur so viel sehen wir,

Digitized by Google

dafs auch diese scheinbar unzerbrechlichen Massen durch Kräfte, die noch weit unter den kosmischen stehn, zersprengt, emporgehoben und umgestürzt sind. Mit welchem Schrecken würden wir einen so ungeheuern Bogen aus grofsem und kleinem Gestein über uns aufgethürmt sehn, dessen Einsturz die Zernichtung ganzer Geschlechter zur Folge hätte, und was würde man von der Tenacität eines solchen Gewölbes halten, das aus Stoffen besteht, deren specifische Dichtigkeit nur etwa $\frac{1}{5}$ von derjenigen der Erde ist? Wie auf dem Saturn der Zusammenhang des Wassers, die Eis-, Dampf- und Dunstbildung, zumal in der Luftverdünnung und Temperatur der höhern Regionen beschaffen seyn, welche Gesetze sie befolgen möge, darüber haben wir kaum Vermuthungen; nur so viel wissen wir, dafs die Natur, mit Grundstoffen und Grundformen sparsam, durch geringe Modificationen, Verbindungen und Uebergänge eine unendliche Mannigfaltigkeit von Gebilden zu erschaffen und Bedingungen auszuführen weifs, deren Erfüllung dem menschlichen Verstande unmöglich erscheint. Dahin gehören namentlich die Temperaturverhältnisse der Planeten in den verschiedenen Tiefen unsers Sonnensystems und die Bedingungen ihrer Bewohnbarkeit durch Thiere und Pflanzen, von ähnlicher physischer Beschaffenheit, wie die unsers Erdballs. Sollten wir also nicht annehmen dürfen, dafs derjenige Stoff, der auf unserm Planeten die Quelle und Bedingung des organischen Lebens ausmacht, das Wasser, auch auf andern Himmelskörpern ebendiese Verrichtung erfülle, und dafs die Natur auch in den kalten Fernen des Saturns mit dem nämlichen Stoffe und nach den gleichen Gesetzen wie auf der Erde thätig sey? Lassen wir den Saturnsring aus Wasserdunst oder Wolken bestehn, so fällt dann auch das Unbegreifliche 100 Meilen hoher Gebirge weg und die oben erörterte Verschiedenheit in den Beobachtungen Herschel's und Schröter's findet in der Beweglichkeit und Veränderlichkeit des Stoffes eine ungezwungene Erklärung. Dafs übrigens auch der verwaschenste Nebel auf die Entfernung von 200 Millionen Meilen als ein scharfbegrenzter Körper erscheinen müsse, bedarf keines besondern Erweises.

H.

Digitized by Google

Sauerstoff.

Oxygen; *Oxygenium;* Oxigène; *Oxygen.*

Scheele's und Priestley's Versuche vorzüglich zeigten, dafs die früher für einfach gehaltene atmosphärische Luft zwei verschiedene Luftarten enthalten müsse, von welcher blofs die eine zum Unterhalten des Verbrennens und des Lebens der Thiere tauglich sey, und es gelang ihnen, in den Jahren 1774 und 75 diese Luftart für sich, als sogenannte *Lebensluft*, *Feuerluft* oder *dephlogistisirte Luft* darzustellen. Lavoisier zeigte, dafs sie gleich allen übrigen wägbaren elastischen Flüssigkeiten aus Wärme und einer wägbaren Grundlage bestehn müsse, welche er, da sie bei ihrer Verbindung mit vielen Stoffen Säure bildet, säureerzeugenden Stoff oder Sauerstoff nannte.

Der Sauerstoff ist das verbreitetste Element; er macht dem Gewichte nach 0,23 der atmosphärischen Luft, 0,89 des Wassers und gegen 0,3 der festen Erde aus, so weit wir sie kennen.

Man erhält das Sauerstoffgas durch Erhitzen des chlorsauren Kali's, des Quecksilberoxyds, des Braunsteins oder des Salpeters für sich, oder des Braunsteins mit Vitriolöl in gläsernen, irdenen oder eisernen Retorten, die mit einer Gasentwickelungsröhre verbunden sind, und Auffangen des Gases über Wasser oder Quecksilber. Es ist farblos, von 1,1092 spec. Gew., geringer lichtbrechender Kraft, geruchlos und geschmacklos.

Es unterhält das Athmen der Thiere und sehr lebhaft das Verbrennen, die bei seiner raschen Compression beobachtete Lichtentwickelung rührt nach Thénard von einer Verbrennung des Fettes her, womit der Stempel eingeschmiert ist. Die stärkste bis jetzt versuchte Compression bewirkte keine Verdichtung des Sauerstoffgases zu einer tropfbaren Flüssigkeit, so dafs wir den von andern wägbaren Stoffen getrennten Sauerstoff blofs in Gasgestalt kennen.

Kein Element geht so viele, so innige und so wichtige Verbindungen ein, wie der Sauerstoff. Meistens ist jedoch zur Einleitung seiner Verbindung mit andern Stoffen eine höhere Temperatur, als die gewöhnliche, erforderlich. Mit

Digitized by Google

gröfserer Affinität gegen den Sauerstoff begabte Stoffe verbinden sich mit demselben unter lebhafter Feuerentwickelung oder unter der Erscheinung der Verbrennung und sie werden deshalb brennbare Stoffe genannt. Hierbei zeigt sich entweder ein *Glühen*, wenn der verbrennende Körper nicht elastisch flüssig ist, oder eine *Flamme*, wenn er elastisch flüssig ist. Die Flamme ist hellleuchtend, wenn sie fein vertheilte feste Materie enthält, von geringer Leuchtkraft, wenn dieses nicht der Fall ist. Die Farbe der Flamme hängt theils von der Temperatur ab, indem z. B. kaltes Kohlenoxydgas mit blauer, vorher erhitztes mit rothgelber Flamme verbrennt, theils von der Natur der in der Flamme befindlichen Stoffe. Hat man die Verbrennung des Sauerstoffs mit einem brennbaren Körper durch höhere Temperatur oder auf andere Weise eingeleitet, so setzt sich die Verbrennung in dem Falle fort, wenn die sich bei der Verbindung entwickelnde Wärme den brennbaren Körper auf der Temperatur erhält, bei welcher er fähig ist, sich mit dem Sauerstoff zu vereinigen. Je gröfser die Differenz zwischen dieser Temperatur und der der Umgebung ist, je weniger Wärme bei der Verbrennung entwickelt wird, je mehr das Sauerstoffgas verdünnt oder mit fremdartigen, nichts zur Verbrennung beitragenden Gasen gemengt ist, und je mehr durch die Berührung fester oder tropfbar flüssiger Körper Wärme abgeleitet werden kann, desto eher sinkt die Temperatur des verbrennenden Körpers unter den Verbrennungspunct und die Verbrennung hört auf.

Die Verbindung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff, der *verbrannte Körper*, wiegt genau so viel, wie der verschwundene brennbare Körper und der Sauerstoff zusammen. Die bei der Verbrennung frei werdende Wärme läfst sich nicht aus der geringeren Wärmecapacität der neuen Verbindung erklären; denn die Capacität mehrerer unter starker Feuerentwickelung erzeugten Verbindungen, z. B. des Wassers, ist gröfser, als die durch Rechnung gefundene mittlere Capacität ihrer Bestandtheile. Auch die Flüssigkeitswärme des Sauerstoffgases, welche bei der Verbindung des Sauerstoffs mit den brennbaren Stoffen frei wird, genügt nicht zur Erklärung; denn der im Salpeter enthaltene Sauerstoff ist nicht gasförmig und erzeugt doch viel Feuer bei seiner Verbindung mit Kohle, wiewohl hierbei gerade ein Gas erzeugt und also Flüssigkeitswärme latent ge-

Digitized by Google

macht wird. Man mufs deshalb entweder annehmen, dafs Sauerstoff oder brennbare Stoffe oder beide zugleich eine bedeutende Menge Wärme innig gebunden enthalten, ohne dafs diese einen flüssigen Zustand hervorbringen, und dieselbe frei werden lassen, wenn sie durch Verbindung mit einander ihre Affinität gegen wägbare Stoffe befriedigt haben, oder nach der elektrochemischen Ansicht, dafs der Sauerstoff viel positive (oder negative) und der brennbare Körper viel negative (oder positive) Elektricität gebunden enthalte, welche beiden Elektricitäten sich bei der Verbindung des Sauerstoffs mit einem brennbaren Körper ebenfalls und zwar zu Licht und Wärme vereinigen.

Man theilt die Verbindungen des Sauerstoffs mit den übrigen Stoffen in *saure* und *nicht saure*. Die sauren sind die *Sauerstoffsäuren*, z. B. Kohlensäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure und Arseniksäure. Die nicht sauren Verbindungen des Sauerstoffs, die *Oxyde*, verhalten sich entweder als Salzbasen, oder sie enthalten zu wenig Sauerstoff, um einen sauren oder basischen Charakter zu zeigen, *Suboxyde*, oder sie enthalten zu viel Sauerstoff, um als Salzbasen auftreten zu können, *Hyperoxyde*, und endlich gehört zu ihnen auch das *Wasser*.

G.

Schall.

Sonus; Son; *Sound.*

Wenn man den Ausdruck in gröfster Allgemeinheit nimmt, so bezeichnet das Wort *Schall* alles Hörbare. Keine andere Sprache ist rücksichtlich der hierzu gehörigen Gegenstände so reich und so bestimmt, als die deutsche, und namentlich klagt Chladni[1] über die Schwierigkeiten, welche die französische einer scharfen Bestimmung der Begriffe entgegenstellt. Nach dem gehörig geregelten Sprachgebrauche heifst Schall im Allgemeinen alles Hörbare und fafst als allgemeiner Ausdruck alles hierzu Gehörige in sich, wobei die Unterscheidungen des Einzelnen nicht willkürlich angenommen, sondern der Natur der Sache nach festgesetzt sind. Ist nämlich der Schall nicht gleichmäfsig bleibend, sondern regellos wechselnd, so

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. S. 7.

Digitized by Google

heifst er ein *Geräusch*, bei gröfserer Heftigkeit ein *Getöse*, bei grofser Stärke und schnellem Vorübergehn ein *Knall*; ist der Schall dagegen regelmäfsig, gleichartig und bestimmt, so nennt man ihn *Ton*, welcher zwar bis zu einer gewissen Grenze unrein oder schwankend seyn kann, über diese hinaus aber in ein Geräusch übergeht. Nicht allezeit wird Ton und Klang hinlänglich bestimmt unterschieden, ja man darf sagen, dafs der Sprachgebrauch über die eigentliche Bedeutung beider Worte noch nicht mit genügender Schärfe und der erforderlichen Allgemeinheit entschieden hat; denn selbst Chladni[1] unterscheidet zwischen Geräusch und Klang, beide zum Schalle gehörig, wovon letzterer durch solche Schwingungen erzeugt werden soll, die gleichartig und bestimmbar sind, ersteres aber durch solche, die es nicht sind; ein Ton aber soll es dann heifsen, wenn man bei einem Klange blofs auf die Geschwindigkeit der zitternden Bewegung, nicht aber auf die Eigenschaften und Gestaltveränderungen des klingenden Körpers Rücksicht nimmt. Allein dann fehlte uns ein Wort zur Bezeichnung der Eigenthümlichkeit der verschiedenen Töne, indem diese, rücksichtlich der Höhe und Stärke einander gleich, dennoch unterscheidbar sind, z. B. der nämliche Ton einer Geige, des Horns, der menschlichen Stimme u. s. w. Was also den Unterschied der verschiedenen gleich hohen Töne bedingt, nennen wir ihren *Klang*, wie aus dem bestehenden Sprachgebrauche folgt, indem man sagt, der Ton der Flöte klinge anders, als der eines Forte-Piano, und auch Chladni sagt, hiermit übereinstimmend, es heifse: das Instrument hat einen guten Klang, nicht aber: einen guten Ton, und ebenso sage man: ein hoher Ton, nicht aber ein hoher Klang[2].

---

1 Die Akustik, bearbeitet von Ernst Florens Friedrich Chladni u. s. w. Leipz. 1802. 4. Die französische Umarbeitung oder Uebersetzung dieses Werkes heifst: Traité d'Acoustique par E. F. F. Chladni cet. Par. 1809. 8. Diese beiden classischen Werke werden von mir schlechthin unter dem Namen Akustik und Acoustique angeführt, auch beziehe ich mich stets auf das erstere, wenn ich Chladni ohne Bezeichnung der Quelle nenne. In der Akustik S. 3. befinden sich die erwähnten Wortbestimmungen, mit Nachweisungen auf andere Autoritäten. Vergl. Neue Beiträge zur Akustik von E. F. F. Chladni. Leipz. 1817. 4. S. 57.

2 Nach Chladni neue Beiträge S. 57. hat die französische Sprache den Vorzug, die Eigenthümlichkeit der Töne durch *timbre* zu

Digitized by Google

Worauf aber diese Eigenthümlichkeit der Töne, die wir durch *Klang* bezeichnen, beruhe, wird in der Folge erläutert werden.

Diejenige wissenschaftliche Disciplin, welche alles, was sich auf den Schall bezieht, untersucht, heifst die *Schalllehre*, ein nicht gebräuchlicher Ausdruck; gangbarer dagegen ist der aus dem griechischen Worte ἀκούειν, hören, entnommene *Akustik*, lateinisch *Acustica* (näml. ars oder die blofse Umbildung des griechischen Wortes in *acustice*), französisch *Acoustique*, englisch *Acustics*. Jeder dieser Ausdrücke ist geeignet, die Untersuchung alles desjenigen daran zu knüpfen, was sich auf den Schall bezieht. Alles was hierzu gehört, kann füglich in drei Abschnitte vertheilt werden, wovon der erstere über Hervorbringung, der zweite über die Fortpflanzung und der dritte über die Wahrnehmung des Schalles vermittelst der Gehörwerkzeuge handelt.

1. Entstehung des Schalles.

1) Schon Aristoteles[1] hatte sehr richtige Begriffe über den Ursprung und die Fortpflanzung des Schalles, die er beide als eine Folge gewisser *Schwingungen* ansah. Letztere nannte man später im Allgemeinen Bebungen, ohne deren eigentliche Beschaffenheit näher zu untersuchen, indem der Augenschein solche bei einer grofsen Menge schallender Körper nachwies. Als man später die Sache genauer untersuchte, glaubte man das eigentliche Wesen in ein *Erzittern der kleinsten Theile* setzen zu müssen, weil es überhaupt Tendenz des Zeitalters war, die Erscheinungen auf das Verhalten der kleinsten Theile zurückzuführen, die man jedoch niemals genau kennen zu lernen vermochte. Diese Erklärung gaben insbesondere Perrault[2], Carré und de la Hire[3], wobei letz-

bezeichnen. Allerdings hat dieses Wort die angegebene Bedeutung, allein nicht so bestimmt und ausschliefslich, als sie für das deutsche Wort Klang angenommen werden kann, indem es zugleich noch eine Glocke und eigentlich die Reinheit der Stimmung bezeichnet. Die Engländer bedienen sich des Ausdrucks *Quality*, dessen Bedeutung sie aber erst dann bestimmen.

1 Fragm. de Audib. T. I. p. 735. ed. 1590. Vergl. Bibl. univ. XVIII. 334.

2 Mém. de Paris. T. I. p. 145.

3 Ebend. 1704. Hist. p. 88. 1716. p. 262.

Digitized by Google

terer sich auf den Versuch berief, dafs eine Ofengabel, wenn man ihre Schenkel zusammendrückt und wieder auseinander schnellen läfst, nicht tönt und nur dann einen Ton giebt, wenn sie einen harten Körper berührt, eine zwar richtige, aber auf eine ganz andere Weise zu deutende Erfahrung. Auch Musschenbroek[1] trat dieser Ansicht bei, und seiner mit Recht grofsen Autorität folgten lange nachher die meisten Physiker, so dafs selbst dann noch, als unlängst die richtigern Ansichten bekannt gemacht waren, von einem solchen Zittern geredet wurde. So machte unter andern Voigt[2] die Erscheinung bekannt, dafs aus der Oberfläche des Wassers in einem Glase, dessen Rand mit einem nassen Finger gestrichen wird, kleine Undulationen nach Art eines ausgebreiteten Milchflors sich zeigen, was er als eine Folge der Bebungen kleiner Theile ansieht; ein Versuch, welchen übrigens schon Galilei[3] erwähnt. Unterdefs wurde die richtige Ansicht, wonach der Schall durch pendelartige Schwingungen erzeugt wird, von den gröfsten Geometern genügend erwiesen. Wenn man als ausgemacht ansehn darf, dafs diejenigen Wellen, wodurch der Schall erzeugt wird, von denen nicht wesentlich verschieden sind, die seine Fortpflanzung bedingen, so ist Newton der erste, welcher hierüber die richtigen Ansichten begründete; nachher haben sich Sauveur, Johann Bernoulli, Jacob Bernoulli, Daniel Bernoulli, Riccati und insbesondere L. Euler um diesen Zweig der mathematischen Physik Verdienste erworben. Chladni hat das Ganze zuerst zu einem vollständigen Systeme geordnet, welchem später durch die gehaltreichen Bemühungen von Poisson, Savart, Thom. Young, den Gebrüdern Weber und andern gelehrte wesentliche Erweiterungen zu Theil geworden sind. Die neueste Zusammenstellung des Ganzen in einer wissenschaftlichen Anordnung verdanken wir den Bemühungen des jüngeren Herschel[4]. Die Verdienste dieser und anderer Gelehrten wer-

1 Introduct. T. II. p. 2191. in motu tremulo partium minimarum.

2 Magazin für das Neueste aus d. Physik. Bd. VII. St. 1. S. 46.

3 In seinen Dialogen über Mechanik; nach Gehler a. A. Bd. III. S. 804.

4 Seine schätzbare Darstellung der Schalllehre (*Sound*) findet sich in der Encyclopädia metropolitana cet. Mixed Sciences. T. II.

Digitized by Google

den in der Folge bei den einzelnen Untersuchungen näher bezeichnet werden.

2) Zur Entstehung eines Schalles ist erforderlich, dafs irgend ein bewegter Körper gegen einen andern stofse und dadurch einen Impuls erzeuge, welcher durch ihn selbst oder nach geschehner Mittheilung an einen andern ohne zu grofse Schwächung seiner Stärke oder gänzliche Unterbrechung durch einen leeren Raum bis zu den Gehörwerkzeugen fortgepflanzt werde. Die Art des erzeugten Schalles wird dann durch die Eigenthümlichkeiten der genannten Stöfse bedingt. Die Schalllehre kann daher keineswegs, wie früher zu geschehn pflegte, den Untersuchungen über das Verhalten der Luft angereihet werden, sondern gehört nach Chladni zu den Bewegungsgesetzen, obgleich bei ihr blofs gewisse eigenthümliche Bewegungen zur Untersuchung kommen. Eine blofse Bewegung, sey es eines festen oder flüssigen Körpers bringt keinen Schall hervor, wie man daraus ersieht, dafs die in einem Rohre bewegte Luft, wenn auch ihre Strömung weit schneller ist, als bei einem wirklich erzeugten Tone, dennoch nicht hörbar ist, ebenso wie eine noch so schnell fliegende Kugel, indem das Pfeifen und Schwirren der letztern blofs durch die Stöfse erzeugt wird, die sie bei ihrer Bewegung der Luftschichten oder die diese durch den erhaltenen Impuls sich einander mittheilen. Es mufs daher jederzeit ein Stofs oder eine gewisse Anzahl Stöfse vorhanden seyn, wenn ein Schall entstehn soll.

3) Wenn zwei Körper gegeneinander stofsen, so kann unter der Voraussetzung, dafs sie vollkommen hart sind, nichts anderes statt finden, als eine gemeinschaftliche Bewegung beider, oder Ruhe, wenn beider Bewegungsmomente einander gleich und entgegengesetzt sind oder die Masse des gestofsenen unendlich grofs ist; weder die Bewegung an sich, noch vielweniger die Ruhe kann jedoch einen Schall hervorbringen und dieser daher durch einen blofsen Stofs nicht entstehn. Indefs giebt es keinen absolut harten Körper, alle sind vielmehr in einem verschiedenen Grade mehr oder minder elastisch, ihre Theile kommen daher in eine Art von Oscillation,

---

Lond. 1830. Diese von mir im gegenwärtigen Artikel vielfach benutzte Abhandlung wird allezeit verstanden, wenn ich ohne Weiteres ihren Verfasser als Autorität nenne.

Digitized by Google

wodurch zwar ein Schall, aber wegen mangelnder Regelmäfsigkeit kein Ton, sondern nur ein Knall, ein Geräusch oder bei öfterer regelloser Wiederkehr ein Getöse erzeugt wird. Alle Körper ohne Unterschied sind daher fähig, ein solches Geräusch hervorzubringen, dessen Stärke der Heftigkeit des Zusammenstofsens proportional ist; es wird daher wahrgenommen beim Schlagen mit einem Hammer gegen einen Stein oder irgend einen sonstigen Körper, beim Zusammenstofsen zweier Bleikugeln, beim Schlagen mit einer flachen Degenklinge auf die Fläche des Wassers, beim Zusammentreffen zweier Wassermassen im Wasserhammer, beim plötzlichen Eindringen der Luft in ein Vacuum oder einen mit verdünnter Luft erfüllten Raum, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, dem Zerplatzen einer gedruckten Thierblase, beim Durchschneiden der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, bei den Explosionen des Geschützes, beim Donner und in zahllosen andern Fällen. Ein solcher Knall kann oft und in ungleich langen Zeitintervallen wiederkehren, indem er entweder jedesmal neu erzeugt oder von geeigneten Körpern reflectirt wird, wie ersteres namentlich beim wiederholten Schlagen mit einem Hammer, letzteres beim Getöse des Donners vorkommt, allezeit aber wird es blofs ein Geräusch seyn, welches dadurch entsteht, dafs derselbe Knall sich selbst gleich oder von wechselnder Stärke wiederholt wird.

Inzwischen fängt ein solches Geräusch an in einen Ton überzugehn, sobald jeder Knall so schnell erfolgt, dafs das Ohr kein dazwischen liegendes Zeitintervall mehr zu unterscheiden vermag. Wenn z. B. der Zahn einer Säge gegen einen Nagel stöfst, so erzeugt dieses ein Geräusch, sobald aber bei schnell bewegter Säge die Zähne in sehr kleinen Zeitintervallen den Nagel treffen, so nähert sich dasselbe einem Tone. Hält man einen Stab gegen die Zähne eines schnell umlaufenden Rades, so tritt der Uebergang zu einem Tone dann ein, wenn das Schlagen jedes einzelnen Zahnes gegen den Stab unterscheidbar zu seyn aufhört. Auf gleiche Weise haben manche im Donner einen Ton wahrnehmen wollen, welcher nur durch die wiederholten Reflexionen des ursprünglichen Knalles von zurückwerfenden Körpern erzeugt werden könnte, und etwas ähnliches zeigt sich bei vorzüglich schönen

Digitized by Google

Echo's in Bergen und Wäldern nach den Explosionen der Schiefsgewehre.

4) Aus allem diesen ergiebt sich also, dafs einzelne Pulsus[1], die einander nahe genug liegen, einen Ton erzeugen. Wissenschaftlich ist dieses, nämlich dafs blofse Pulsus einen Ton und zwar einen desto höhern erzeugen, je mehr ihre Menge in einem gegebenen Zeitintervalle zunimmt, durch die *Sirene*[2] dargethan, bei welcher der Strom irgend einer elastischen oder tropfbaren Flüssigkeit in einem schnellen und zugleich regelmäfsigen Wechsel unterbrochen wird, woraus zugleich hervorgeht, dafs eine schnelle und der Zeit nach regelmäfsige Folge und Gleichartigkeit dieser Pulsus nothwendige Bedingungen der Töne sind, deren Höhe zugleich von der Menge derselben abhängt. Ohne dieses Instrument gelangt man indefs auf einfache Weise zu dem nämlichen Resultate. Wenn man nämlich mit einem harten Körper langsam über einen andern rauhen oder mit Furchen versehenen, z. B. mit einem Schlüssel über ein mit harten Fibern versehenes Bret hinfährt, so wird man bei jedem Stofse gegen eine einzelne Erhabenheit ein Getöse, ein Geräusch hören, so lange jeder Stofs einzeln unterscheidbar ist, es zeigt sich aber ein Uebergang zum Tone, sobald die Pulsus einander so nahe kommen, dafs die Wahrnehmung jedes einzelnen verschwindet; dieses findet statt bei schnellerer Bewegung des gegen die Rauheiten stofsenden Körpers, und mit dieser zunehmenden Geschwindigkeit wächst die Deutlichkeit und zugleich die Höhe des erzeugten Tones. Aus diesem nämlichen Grunde entsteht nicht blofs ein ganz eigentlich bestimmter, sondern auch zugleich ein starker und wegen seiner Höhe und Schärfe unangenehmer Ton, wenn Flächen, insbesondere metallene, mit einem scharfen Stahlbleche geschabt werden, wobei dann die eigentlich wirksamen Erhabenheiten wegen ungleicher Härte des Materials bald auffallend wahrnehmbar zum Vorschein kommen. Auf einem ähnlichen Verhalten beruhen die unangenehmen pfeifenden, auch schneidend genannten Töne beim

1 Das Wort, Stofs, würde diese Sache bezeichnen, indefs hat dasselbe in der Akustik bereits eine andere Bedeutung, wie sich unten zeigen wird.

2 Sie wird weiter unten beschrieben werden.

Digitized by Google

Hingleiten eines Messers oder einer Gabel über der Fläche eines porzellanenen Tellers, eines Rechenstiftes auf einer Schiefertafel, das sogenannte Pfeifen oder Schreien (Quiken, Quiksen) nicht geschmierter Zapfen oder sonstiger geriebener Maschinentheile, das pfeifende Geräusch, welches bei dem durch Clement und Hachette beschriebenen pneumatischen Versuche[1] zum Vorschein kommt, und andere Töne gleichen Ursprungs. Savart[2] hat die Töne, welche bei Clement's Versuchen gehört werden, ausführlich untersucht, und ist dadurch zu dem Resultate gelangt, dafs sie nicht von den Stöfsen der Scheiben gegen die Oeffnungen, also nicht von einfachen Pulsationen, wie die bei der Sirene, sondern von transversalen Schwingungen derselben, wie die bei den Chladni'schen gestrichenen Scheiben, herrühren. Einen Hauptbeweis, welchen er unter mehrern zur Unterstützung dieser Hypothese anführt, findet er darin, dafs die von gleich dicken, aber ungleich grofsen Scheiben entstehenden Töne den Durchmessern derselben umgekehrt proportional sind. Es würde zu weit führen, alle einzelne Argumente hier zu prüfen, allein hauptsächlich streitet gegen diese Ansicht der Umstand, dafs die Scheiben auf ihre Unterlage abwechselnd aufschlagen, wodurch ihre Schwingungen gehindert und die Töne unterbrochen werden müfsten. Aufserdem lassen sich die Töne auch mit Papierscheiben durch Blasen mit dem Munde erzeugen, wobei sie allmälig feuchter werden und demnach eine veränderte Elasticität erhalten, mithin auch einen andern Ton geben müfsten, wenn man sie überhaupt bei fast gänzlicher Abwesenheit aller Spannung für elastisch genug zur Annahme der erforderlichen Schwingungen halten will, was mir auf jeden Fall nicht glaublich scheint. Hiernach und aus den Gründen, die mir aus zahlreichen Beobachtungen der auf diese Weise erzeugten Töne zu folgen scheinen, bin ich geneigt, sie blofs für das Resultat der einzelnen schnellen Stöfse zu halten, die beim stets wiederholten Aufschlagen der Scheiben statt finden, und sie also neben die durch die *Sirene* erzeugten zu reihen. Diesen ähnlich ist das Pfeifen oder Summen der Geschützkugeln, wenn sie durch die Luft fliegen, welches

1 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 680.
2 Ann. Chim. Phys. XXXV. p. 53.

Digitized by Google

nach der Ansicht von W. Herschel[1] dadurch erzeugt wird, dafs die mit zahlreichen Unebenheiten versehene Kugel bei ihren schnellen Drehungen Partikeln der Luft in schnellen und regelmäfsigen Wechseln gewaltsam fortstöfst. Die Höhe des Tones hängt also hauptsächlich von der Geschwindigkeit ihrer Bewegung ab, wonach die Stöfse regelmäfsiger erfolgen und wobei zu berücksichtigen, dafs die Luft an den verschiedenen Theilen der Kugel von ungleicher Dichtigkeit ist.

5) Vergleichen wir die hier gefundenen Resultate mit den Erscheinungen, die wir bei andern tönenden Körpern wahrnehmen, so gelangen wir bald zu der Ueberzeugung, dafs ähnliche Pulsus bei ihnen insgesammt die Entstehung der Töne bedingen. Die Betrachtung einer tönenden Saite, eines fest eingeklemmten Stabes, der Schenkel einer mit ihrem Stiele festgestellten angeschlagenen Stimmgabel u. s. w. zeigt nämlich, dafs auch diese Körper insgesammt oscilliren, indem die durch diese Schwingungen erzeugten Stöfse berührenden Körpern mitgetheilt werden und auf diese Weise zum Gehöre gelangen. Dabei zeigt schon der blofse Anblick ohne eigentliche Messung, dafs die Höhe der erzeugten Töne mit der Schnelligkeit dieser Oscillationen wächst. Forschen wir aber nach der Ursache, weswegen diese Töne für das Ohr nicht so unangenehm sind, als die oben genannten, so ergiebt sich bald, dafs die den Ton bedingenden Pulsus bei jenen scharfen Tönen als einzelne Stöfse, bei diesen angenehmeren aber als pendelartige Schwingungen mit einem allmäligen Uebergange aus der Ruhe zum Maximum der Geschwindigkeit und wieder zur Ruhe bestehn. Diese Ueberzeugung wird dadurch noch mehr begründet, wenn wir wahrnehmen, dafs diejenigen Körper, welche rücksichtlich ihrer Masse, ihrer Dicke und ihrer Spannung am meisten gleichmäfsig sind, auch die angenehmsten Töne erzeugen. Die klarste Vorstellung des Verhaltens der Körper bei der Erzeugung des Schalles gewährt aber der Anblick einer gespannten Saite, wenn man sie in der Mitte aus ihrer geraden Richtung zieht, dann zurückschnellen und oscilliren läfst, so dafs ein etwas tiefer, aber wohlklingender und hinlänglich starker Ton entsteht. Hierbei sieht man deutlich, dafs die Saite an beiden Enden auf der

1 Encyclop. metrop. Art. Sound. p. 778.

Digitized by Google

sie stützenden Stegen ruhet, in ihrer Mitte aber pendelartig schwingend Bogen durchläuft, so dafs man sie als zwei gleiche, in der Mitte vereinte Pendel betrachten kann, bei denen die Spannung statt der Schwere wirkt und diesemnach zwei Aufhängepuncte und ein gemeinschaftliches Centrum Oscillationis anzunehmen sind. Ein ähnliches Verhalten zeigen alle schallende Körper, wenn auch minder deutlich, man führt daher mit Recht den Ursprung der Töne insgesammt auf pendelartige Schwingungen zurück, wobei man die Ruhepuncte mit dem Namen *Schwingungsknoten*, die vibrirenden Theile durch *Schwingungsbogen* bezeichnet, und hiernach den ganzen Procefs einer geometrischen Construction unterwirft. Die erste Hauptaufgabe der Akustik ist daher, das Verhalten der verschiedenen Körper rücksichtlich dieser die Töne erzeugenden Schwingungen zu untersuchen, die man wegen ihrer Aehnlichkeit mit den Wellen auch *Schallwellen* genannt hat.

6) Eine nothwendige Bedingung zur Erzeugung des Schalles ist ein gewisser höherer Grad der Elasticität der Körper, wenn sie überhaupt zum Tönen geeignet seyn sollen, weil ein geringes Mafs dieser Eigenschaft nicht hinreicht, damit hinlänglich schnelle, in genügender Menge sich wiederholende und den erforderlichen Raum durchlaufende Oscillationen der tönenden Körper statt finden, indem vielmehr die Körper im gleichen Verhältnisse ihrer Elasticität zur Erzeugung eines Tones geeignet sind. Die sehr weichen und biegsamen Metalle, als reines Gold und Blei, ebenso wie alle durch Feuchtigkeit sehr erweichte Substanzen, eignen sich daher nicht zur Hervorbringung eines Tones, und wenn dennoch ein Ton zum Vorschein kommt, so ist er auf jeden Fall nur dumpf und unklar, nicht hell und klingend, obgleich alle diese Körper in ähnliche Oscillationen versetzt werden können, wenn sie mit andern schwingenden in Verbindung sind, wie später gezeigt werden wird, weswegen sie den Schall fortzuleiten, aber nicht selbst zu erzeugen vermögen. Alle tropfbare Flüssigkeiten sind insofern wenig elastisch, als sie der zusammendrückenden Kraft mit einer aufserdentlichen Gewalt widerstehn; es scheint dann ferner, dafs sie nicht schnell nach aufhörendem Drucke zu ihrem ursprünglichen Volumen wieder zurückkehren, welches ohnehin durch ihren eigenthümlichen Aggregatzustand gehindert wird; auf jeden Fall können

Digitized by Google

sie nicht füglich in Folge des Trägheitsgesetzes nach der Compression zur Vergrößerung ihres Volumens und dann wieder zur Verminderung desselben übergehn, oder mit einem Worte, sie können nicht in dem erforderlichen Grade oscilliren und daher auch insgesammt keinen Ton erzeugen. Die Untersuchungen über die Schallschwingungen beziehn sich daher blofs auf feste Körper und die sogenannten elastischen Flüssigkeiten.

A. Erzeugung der Töne durch feste elastische Körper.

7) Worin das Wesen der *Elasticität* fester Körper bestehe, ist so weit, als wir dieses bis jetzt zu beurtheilen vermögen, bereits an einem andern Orte[1] untersucht worden; seitdem aber sind noch einige schätzbare Abhandlungen über diesen Gegenstand im Allgemeinen und ohne ausschliefsliche Beziehung auf die Erzeugung des Schalles bekannt geworden, die hier gelegentlich erwähnt zu werden verdienen. Navier[2] stellt das Axiom auf, dafs die Erscheinungen der Elasticität auf einer Veränderung der Lage der Molecülen beruhen. Letztere befinden sich nämlich bei sich selbst überlassenen Körpern im Zustande der Ruhe vermöge des Gleichgewichts der beiden gemeinschaftlich auf sie einwirkenden Kräfte, der Attraction und der Repulsion, die er nach der bekannten Ansicht von La Place als eine Folge der Wärme betrachtet. Kommt alsdann eine äufsere Kraft hinzu, die den Körper auszudehnen oder zusammenzudrücken strebt und welche also die eine der beiden Kräfte unterstützt, während sie der andern entgegenstrebt, so treten Veränderungen in der Lage der Molecülen ein, wofür er die analytischen Ausdrücke durch Differenzialgleichungen sucht. Ungleich vollständiger und in näherer Beziehung zur Schalllehre stehend ist eine gehaltreiche Abhandlung von Poisson[3]. Sie schliefst sich an die bekannten Arbeiten der früheren berühmten Geometer über diese Probleme an und ist vorzüglich wichtig rücksichtlich der zur Lösung

1 S. Art. *Elasticität*. Bd. III. S. 167.

2 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VII. p. 375.

3 Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques. Ebend. T. VIII. p. 357.

Digitized by Google

dieser Aufgaben angewandten analytischen Hülfsmittel. Inzwischen werden die hier zu beobachtenden Grenzen mir nicht gestatten, auch nur den wesentlichen Inhalt derselben anzugeben, und ich mufs mich daher begnügen, auch diese unter den classischen Arbeiten über diesen Gegenstand blofs im Allgemeinen zu benutzen.

8) Die festen oder starren Körper äufsern ihre Elasticität durch Ausdehnungen und Zusammenziehungen nach ihrer Länge, durch Oscillationen in der Ebene ihrer Axe, wenn sie durch irgend eine mechanische Gewalt aus ihrer Ruhe in dieser Lage gebracht werden, und durch zurückgehende Schwingungen, wenn sie gedreht sind. Nach dieser Eintheilung ist ihre Elasticität am gehörigen Orte untersucht worden und es ist interessant, thatsächlich nachzuweisen, dafs durch alle drei Arten auch Töne erzeugt werden. Hiernach lassen sich bei ihnen also *longitudinale*, *transversale* und *drehende* Schallschwingungen unterscheiden, von denen jedoch die transversalen bei weitem die häufigsten sind, während von den longitudinalen blofs bei einigen musikalischen Instrumenten Gebrauch gemacht wird, die drehenden aber schwerlich anders als bei akustischen Demonstrationen vorkommen. Chladni[1] theilt hinsichtlich der Schallschwingungen die sämmtlichen festen Körper ein in solche, die durch Spannung, und solche, die durch innere Steifheit elastisch sind, beide der Gestalt nach fadenförmig oder membranenförmig, wovon die durch Spannung elastischen fadenförmigen transversale und longitudinale Schwingungen zeigen, wozu bei den durch innere Steifheit elastischen fadenförmigen, wenn sie gerade sind, noch die drehenden kommen, die bei den gekrümmten, als den Triangeln, Ringen, Gabeln u. s. w., sicher wegfallen; ob aber bei diesen auch longitudinale vorkommen, wird zwar nicht angegeben, scheint mir aber wahrscheinlich, ebenso wie bei den membranenförmigen, die entweder gerade sind, als Scheiben, oder gekrümmt, als Glocken u. s. w. Die genannten drei Arten von Schwingungen sind bei den verschiedenen Körpern einander sehr ähnlich und können also einen Eintheilungsgrund der folgenden Untersuchungen abgeben, wobei jedoch die transversalen bei weitem die gröfste Abtheilung bilden, und aufser-

1 Neue Beiträge S. 61.

Digitized by Google

dem läfst sich in vielen Fällen nicht einmal genau bestimmen, ob ein Ton blofs durch diese oder gleichzeitig auch durch mitwirkende longitudinale erzeugt wird.

a) Schwingende Saiten.

9) Wenn eine Saite, ein fadenförmiger Körper von willkürlicher Substanz, bei welchem jedoch für diese Untersuchung angenommen wird, dafs er seine Elasticität nicht durch innere Steifheit, sondern durch eine anderweitige spannende Kraft erhalten habe, an beiden Enden befestigt worden ist und durch irgend eine Ursache aus der angenommenen Lage gebracht wird, so kehrt er nach dem Aufhören dieser Einwirkung in seine frühere Lage wieder zurück, indem er wellenartige Bewegungen macht, die rücksichtlich ihrer Gestalt und Geschwindigkeit durch die bedingenden Umstände mannigfaltig modificirt sind. Von den vielen Untersuchungen, welche die Gebrüder Weber[1] über die Art und die Gesetze dieser Wellen mitgetheilt haben, führe ich hier nur folgende zur Erläuterung dienende Erfahrungen an. Zieht man eine mäfsig gespannte weifse Schnur, die in den Puncten A und B an Wirbeln befestigt ist oder noch besser auf geeigneten Stegen ruht, aus ihrer Lage, indem man sie in der Mitte bei α anfafst, und läfst man sie dann zurückschnellen, so kann man ihre Vibrationen wahrnehmen. Sie zeigt sich nämlich in A und B einfach, von beiden Puncten an aber gespalten, indem in der Mitte ein halbdurchsichtiger, von zwei weifsen Streifen begrenzter Raum zum Vorschein kommt, der allmälig schmäler wird, während die Begrenzungen sich einander nähern und zuletzt zur einfachen, endlich ruhenden Schnur übergehn. Hierbei wird der unvollkommen durchsichtige Raum durch die ihn durchlaufende Schnur gebildet, deren Bewegung zu schnell ist, als dafs sie deutlich gesehn werden könnte, die dagegen am Rande zur Ruhe kommt, zurückkehrt und demnach länger verweilend sichtbar wird. Zieht man dagegen

Fig. 27.

1 Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipz. 1825. 8. S. 439. Dieses classische Werk wird von mir unter der einfachen Bezeichnung *Wellenlehre* häufig citirt werden.

Digitized by Google

die nämliche Schnur A B an der Stelle b bis b″ herabwärts und läfst sie dann schwingen, so sieht man B c als eine weifse Linie, die gegen die Mitte hin undeutlicher wird; über ihr ist aber ein halbdurchsichtiger Raum, welcher oberhalb in der Richtung B c′ von einer schwachen undurchsichtigen Linie begrenzt ist, von A aus aber liegt die starke undurchsichtige weifse Linie oben, der halbdurchsichtige Raum aber unter ihr. Es liegt also zwischen den beiden Schwingungsknoten nur eine Wellenbreite, allein der Gipfel derselben läuft bei jeder Schwingung von A bis B, und kehrt bei jedem Anprallen an einen derselben um, wobei es nach Weber merkwürdig ist, dafs der einzelne Punct die grofse Excursion c c′ in der nämlichen Zeit als die kleine c c″ vollendet. Beide auf diese verschiedene Weise erzeugte Töne sind daher der Höhe nach einander gleich, hinsichtlich des Klanges aber verschieden. Es ist diesemnach in Beziehung auf den zu erzeugenden Ton keineswegs gleichgültig, an welcher Stelle eine unveränderlich gespannte und also isochronisch schwingende Saite in Schwingungen gesetzt wird, was bei der Führung des Violinbogens in Betrachtung kommt, auch pflegen die Verfertiger von Forte-Piano's diejenige Stelle für das Anschlagen der Hämmer zu wählen, von welcher sie den reinsten und angenehmsten Klang erwarten, abgesehn davon, dafs bekanntlich der Anschlag der verschiedenen Spieler auf dem nämlichen Instrumente rücksichtlich der Annehmlichkeit der erzeugten Töne so verschieden ist. Fig. 28.

10) Ist es gleich am einfachsten, anzunehmen, dafs eine gespannte Saite zwischen den beiden festen Endpuncten nur eine einfache Schwingung mache (oder dafs zwischen den beiden Schwingungsknoten A und B nur eine Wellenlänge liege), so geht doch aus der Theorie schon von selbst eine mehrfache Abtheilung, insbesondere langer Saiten, hervor. Hierunter gehört aber das Verfahren nicht, wonach namentlich bei den Bogeninstrumenten die Saite mit dem Finger gegen das Griffbret gedrückt wird, weil dann allezeit der Steg und die niedergedrückte Stelle die beiden Knoten abgeben, zwischen denen die Saite schwingt, weswegen es eine Hauptregel des Spielens ist, mit dem Finger möglichst fest aufzudrücken, damit der tönende Theil der Saite scharf bestimmt und der Ton von hinlänglicher Reinheit und angenehmem Klange erhalten

Digitized by Google

werde. Hiervon abgesehn ist klar, dafs bei bestimmten Ru-
Fig. hepuncten A B einer Saite noch ein Schwingungsknoten in a,
29. oder zwei in a′ und a′ oder drei in a″, a° und a″ liegen, oder allgemein, dafs die Saite zwischen ihren beiden festen Endpuncten durch n Schwingungsknoten abgetheilt seyn könnte und dann n + 1 einzelne schwingende Abtheilungen haben müfste. Soll in diesem Falle die Saite tönen, so müssen alle Abtheilungen gleich grofs seyn, damit die Schwingungen derselben in gleichen Zeiten erfolgen, was nur unter jener Bedingung bei gleich dicken und durch gleiche Kraft gespannten Saiten möglich ist. Dafs solche verschiedene Abtheilungen einer Saite durch einen oder mehrere entstehende Schwingungsknoten wirklich statt finden können, läfst sich am einfachsten an einem gewöhnlichen Monochorde auf eine interessante Weise auch dann darthun, wenn die erzeugten Schwingungen zu klein sind, um mit bloſsen Augen gesehn zu werden[1]. Zu
Fig. diesem Ende theilt man die Saite, die auf den Stegen A und
30. B fest aufliegt, in gleiche aliquote Theile, z. B. in 5, die man auf den Resonanzboden des Monochords aufträgt, hängt über die Stellen a′, a″, a‴, kleine Papierstreifen von weniger als 1 Lin. breit und kaum 1 Zoll lang, die in der Mitte eingekniffen sind, und eben solche ungefähr in der Mitte zwischen a und a′, a′ und a″, a″ und a‴, a‴ und B, berührt dann die Saite schwach mit dem Finger oder einem sonstigen weichen Körper in a und streicht sie mäfsig zwischen A und a mit einem Violinbogen, so werden die Reuterchen in a′, a″ und a‴ als den Schwingungsknoten ruhn, in den Zwischenräumen aber durch die erzeugten Wellen herabgeworfen werden.

11) Unter den verschiedenen Anwendungen, die von diesem eben erläuterten Gesetze vorkommen, erwähne ich bloſs diejenigen, deren man sich in der ausübenden Musik bedient. Hierhin gehören hauptsächlich die sogenannten *Flageolet-Töne*, sehr hohe, die man auf den Bogeninstrumenten denen ähnlich hervorbringt, welche eine kleine Pfeife (*Flagioletto*) giebt. Zu diesem Ende berührt man die Saite sanft mit dem Finger und streicht sie leise mit dem Bogen, wodurch sie von selbst durch entstehende Schwingungsknoten in aliquote Theile ge-

1 Vergl. J. G. Voigt in Gren N. Journ. Th. II. S. 352.

Digitized by Google

theilt wird und der Gröfse dieser letztern angemessene Töne giebt. Es versteht sich hierbei von selbst, dafs jede Saite auf diese Weise nur solche Töne erzeugen kann, deren Schwingungen zu denen des eigentlichen Tones ein bestimmtes rationales Verhältnifs haben; es lassen sich jedoch diese Verhältnisse abändern, wenn man namentlich beim Violoncello durch Einsetzen des Daumens (festes Niederdrücken der Saite gegen das Griffbret) den eigentlichen Ton derselben abändert, wie zuerst LAGRANGE[1] wissenschaftlich untersucht hat. Nach WEBER[2] lassen sich solche Flageolettöne auch auf der Harfe hervorbringen, wenn man die Saite AB in dem einen Drittel ihrer Länge in a mit dem Ballen des Daumens berührt, mit der Spitze desselben nach α hinzieht und dann schwingen läfst, worauf sie nach und nach die in der Figur gezeichnete Wellenbewegung annimmt und die Quinte der nächst höhern Octave ihres eigentlichen Tones giebt. Vorzüglich werden die Töne der *Aeolsharfe*[3] aus diesen Untersuchungen klar, wenn man annimmt, dafs die leise Berührung des Windes, welche die Saite in Schwingungen versetzt, durch einen partiellen Druck verschiedene Schwingungsknoten erzeugt, die nach den eben aufgestellten Gesetzen keine andern als harmonische Töne geben können. Vielleicht beruhn auch die Töne der bereits erwähnten *Wetterharfe* oder *Riesenharfe*[4] auf gleichen Gründen, mindestens ist dieses wahrscheinlicher, als dafs sie durch eine Volumensveränderung in Folge einer verschiedenen Temperatur erzeugt werden. Fig. 81.

Eine vorzügliche Anwendung finden die hier erläuterten Gesetze bei der Meertrompete (*Trompette marine; Marine trumpet* oder *Trumpet marine*), einem gegenwärtig wenig bekannten, ehemals gangbaren, in der Mitte des 16. Jahrhunderts durch den Italiener MARINO oder MARIGNI erfundenen Instrumente, wobei sich deutlich zeigt, dafs auf die angezeigte Weise nicht alle Töne, sondern nur die durch die rationalen

1 Miscellan. Taurin. T. I. §. 51.

2 Wellenlehre. S. 472.

3 Vergl. diesen Art. Bd. I. S. 208.

4 Vergl. *Barometer*. Bd. I. S. 799. An dieser Stelle wird PREVOT der Erfinder derselben genannt, wobei ich der angegebenen Autorität gefolgt bin, LICHTENBERG im Gött. Taschenkalend. 1789. S. 129. nennt aber den P. VENTAN, Propst zu Bürkli bei Basel, als solchen.

Digitized by Google

Theilungen bedingten erzeugt werden können. Dasselbe besteht aus einem dreikantigen, nach dem einen Ende hin verjüngten Kasten aus drei dünnen Bretern, deren oberes den Resonanzboden bildet. Am dünnern Ende befindet sich ein kurzer Hals mit einem Wirbel L, um welchen eine einzige Saite geschlungen ist, die über den Sattel E geht und unten in der Mitte zwischen A B an einem kleinen Knopfe festsitzt. Bei F ruht sie auf einem dreikantigen Stege a b, welcher jedoch nicht mit der ganzen untern Fläche, sondern nur mit der einen Kante aufsteht, wodurch die Saite einen schnarrenden, trompetenartigen Ton erhält, der noch vermehrt wird, wenn man unter den Steg ein Stück Elfenbein einlegt oder das eine Ende b des Steges durch eine unter demselben befindliche gespannte Saite etwas in die Höhe zieht, wodurch die beim Streichen derselben entstehenden Bebungen verstärkt werden. Zwischen E und K befinden sich Erhabenheiten, wie bei den Zittern, die den Raum E F in aliquote Theile theilen, über denen man die Saite mit dem Finger drückt, doch nicht so stark, dafs sie die Erhabenheit berührt, und also bei H mit einem Bogen gestrichen in Schwingungen geräth, indem sich die durch die berührten Stellen bedingten Schwingungsknoten bilden. Dabei sind die Mengen der Schwingungen den zwischen den Knoten befindlichen Saitenlängen umgekehrt proportional, und indem die ganze Saite jederzeit in aliquote Theile nach ganzen Zahlen getheilt werden mufs, so übersieht man hiernach bald, dafs einige Töne unserer Tonleiter fehlen, andere dagegen erzeugt werden, die nicht in derselben liegen. Hiernach giebt also

Fig. 32.

die ganze Länge = $\frac{1}{1}$ den Grundton
die halbe Länge = $\frac{1}{2}$ die Octave
der dritte Theil = $\frac{1}{3}$ den 12. Ton
der vierte Theil = $\frac{1}{4}$ den 15. Ton = die Doppeloctave
der fünfte Theil = $\frac{1}{5}$ den 17. Ton
der sechste Theil = $\frac{1}{6}$ den 19. Ton
d. siebente Theil = $\frac{1}{7}$ den 21. Ton[1]
der achte Theil = $\frac{1}{8}$ den 22. Ton = die dreifache Octave
der neunte Theil = $\frac{1}{9}$ den 23. Ton oder 2. der 3. Octave

1 Dieser ist tiefer als h und höher als b, fehlt also in der Tonleiter.

Digitized by Google

der zehnte Theil = $\frac{1}{10}$ den 24. Ton oder Tertie der 3. Octave
der eilfte Theil = $\frac{1}{11}$ den 25. — — Quarte — —
der zwölfte Theil = $\frac{1}{12}$ den 26. — — Quinte — —
d. dreizehnte Thl. = $\frac{1}{13}$ den 27. — — falsche Sexte der 3. Octave
d. vierzehnte Thl. = $\frac{1}{14}$ den 28. — — falsche Septime minor der 3. Octave
d. funfzehnte Thl. = $\frac{1}{15}$ den 28. — — Septime major der 3. Octave
d. sechzehnte Thl. = $\frac{1}{16}$ den 29. — — die vierte Octave.

Diese Uebersicht ist sehr belehrend, um einzusehn, dafs die Flageolet-Töne nicht nach der Reihenfolge durch das Niederdrücken der Saiten, wie die gewöhnlichen, erzeugt werden können und dafs die hohen Töne weit vollständiger zum Vorschein kommen, als die tieferen, unter denen die Octave der nächste, möglicher Weise erreichbare ist, denn die Töne werden höher, je näher am Sattel man die Saite berührt, nehmen dann an Höhe ab, bis zur Mitte zwischen EF, von da an aber wieder zu[1].

12) Die geometrische Construction derjenigen Curve, welche eine Saite bei ihren Schwingungen bildet, hat die gröfsten Geometer beschäftigt. Im Allgemeinen berührte schon Galilei dieses Problem, näher Huyghens und Newton, aber die erste Bearbeitung desselben, die noch jetzt Aufmerksamkeit verdient, ist von Brook Taylor[2], welcher die Sache theoretisch untersucht, aber sich so dunkel ausdrückt, dafs man neuerdings keinen Gebrauch mehr von seiner Arbeit macht. Wichtiger ist eine Abhandlung von Joh. Bernoulli[3], und L. Euler[4] hat die Aufgabe mehrmals zum Gegenstande

1 Als erster Entdecker der höhern Töne einer Saite wird Sauveur angesehn, nach dessen Angabe in Mém. de l'Acad. 1701. Aber nach Wallis (Wallisii Opera T. II. p. 466.) haben Noble und Pigot zu Oxford schon vor 1676 sie entdeckt, weswegen Sauveur der Ehre dieser Erfindung entsagte. S. Hawkins History of Music. T. III. p. 134. Matthiew Young Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. P. II. Sect. V. Chladni Akustik p. 69.

2 Methodus incrementorum directa et inversa. Lond. 1715. 4. Phil. Trans. 1713 bis 1726.

3 Comm. Petrop. T. III. S. 13.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin 1748. p. 69. 1753. 1765. p. 307 u.

Digitized by Google

seiner Untersuchungen gewählt, gesteht aber selbst, dafs seine Behandlung des Problems über die Schwingungen ungleich dicker Saiten[1] blofs als eine Uebung in der Analyse zu betrachten sey. Gleichzeitig beschäftigten sich damit Dan. Bernoulli[2], d'Alembert[3], Lagrange[4], Sauveur[5], Zanotti[6], Giordano Riccati[7] und Matthiew Young[8], später hat Monge[9] eine kurze und lichtvolle Darstellung des Problems gegeben, desgleichen J. F. W. Herschel[10], am vollständigsten und gründlichsten ist die ganze Aufgabe über die Schwingungen elastischer Körper behandelt worden durch Poisson[11]. Inzwischen gehört diese Untersuchung mehr in das Gebiet des höhern Calcüls, als dafs die Akustik Vortheil daraus ziehen sollte, obgleich die Gebrüder Weber[12] gezeigt haben, wie genau die Rechnungen L. Euler's mit ihren Erfahrungen übereinstimmen. Wichtiger dagegen ist es für die Lehre vom Schalle, das Verhältnifs zwischen der Beschaffenheit der Saiten und der Zeitdauer ihrer Schwingungen aufzufinden, worauf dann die Höhen der erzeugten Töne beruhn.

13) Wenn eine gleichmäfsig dicke Saite zwischen zwei festen Puncten gespannt ist und auf irgend eine Art in Schwingungen versetzt wird, die sie sich selbst überlassen zwischen den beiden festen Puncten fortsetzt, so erfolgen nach den für

---

335. Nov. Comm. Soc. Pet. XVII. p. 381. u. T. XIX. Acta Ac. Pet. 1779. P. II. 1780. T. IV. P. II. p. 99. 1781. p. 1. Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. III.

1 Nov. Comm. Pet. T. IX. p. 246.

2 Acad. de Berlin 1753. u. 1765. p. 81. Nov. Comm. Soc. Pet. T. III. p. 62. T. XVI. p. 257.

3 Mém. de l'Ac. de Berlin 1747, 1750 u. 1763. Opusc. T. I. u. IV.

4 Mélanges cet. de la Soc. de Turin. T. I. II. u. III.

5 Mém. de l'Ac. 1713. p. 321.

6 Comm. Bonon. T. IV.

7 Delle corde ovvero fibre elastiche. Bologna 1767. 4.

8 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

9 Application de l'Analyse à la Géométrie. Par. 1809. 4. p. 415. Vergl. Journ. de l'École polyt. C. XV. p. 118.

10 Encyclop. metrop. Art. Sound.

11 Mém. de l'Acad. de l'Institut de France. T. VIII. p. 357.

12 Wellenlehre. S. 449.

Digitized by Google

pendelartig schwingende Körper bereits aufgefundenen Gesetzen die Oscillationen in gleichen Zeiten, wenigstens so weit, dafs kein merklicher Unterschied dabei wahrnehmbar ist, mögen sie so grofs seyn, dafs sie dem Auge sichtbar werden, oder so klein, dafs die Saite zu ruhen scheint. Ist dann das Gewicht der Saite = p, die sie spannende Kraft = P, ihre Länge = L, die Zeit einer Oscillation in Sexagesimalsecunden = t und die Fallhöhe in einer Secunde im leeren Raume = g, so ist

$$t = \sqrt{\frac{L}{2g} \times \frac{p}{P}}.$$

Für eine runde Saite vom Halbmesser = r ist das Volumen $= r^2 \pi L$, wenn π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet, und also bei einem specifischen Gewichte = w ist $p = r^2 \pi w L$, welches substituirt

$$t = r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}}$$

giebt. Heifst ferner N die Anzahl Schwingungen, welche eine Saite in der Zeit T macht, so ist

$$T = N r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}}, \text{ also } N = \frac{T}{rL} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}$$

und für T = 1 Secunde

$$N = \frac{1}{rL} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}.$$

Hieraus folgt, dafs für gleich dicke und gleich gespannte Saiten von der nämlichen Substanz die Mengen ihrer Schwingungen den Längen umgekehrt und den Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften direct proportional sind[1].

---

1 W. Weber erwähnt Doppeltöne der Saiten oder dafs die Saiten unrein genannt werden. Mir ist hiervon nichts weiter bekannt, als dafs sehr lange und dicke Metallsaiten der Forte-Piano's zuweilen aufser dem Haupttone noch einen höhern Ton schwach hören lassen, was von secundären Schwingungen einzelner Abtheilungen herzurühren scheint. Aufserdem sind die Saiten der Bogeninstrumente oft falsch, d. h. sie geben andere und schlechtere Töne an, als sie sollten, was eine Folge ihrer ungleichen Dicke und Beschaffenheit in ihren einzelnen Abtheilungen ist. S. Poggendorff's Ann. XXVIII. 8.

Digitized by Google

Um den Einfluſs der Saitenlängen auf die Schwingungsmengen zu versuchen, setzt man unter die auf einem Monochorde vermittelst eines unveränderten Gewichtes gespannte Saite einen Steg und bringt die hierdurch gebildeten ungleichen Längen zum Tönen. Heifst dann der Ton, welchen die ganze Saite giebt, der Grundton, wird der Steg unter die Mitte derselben gestellt und jede der beiden Hälften zum Tönen gebracht, so giebt jede einen höhern Ton, welchen man die Octave nennt. Hieraus ergiebt sich, daſs der Octave, die zum Grundtone im einfachsten Verhältnisse steht und daher am leichtesten unterschieden wird, die doppelte Anzahl von Schwingungen zugehört. Wird die Hälfte der Saite abermals halbirt, so erhält man die Doppeloctave, und so fort durch weiteres Halbiren, so daſs sich also die weitere Untersuchung bloſs auf die in einer Octave zwischenliegenden Töne und deren Verhältniſs beziehen kann, wie dieses später gezeigt werden wird. Auf gleiche Weise läſst sich der Einfluſs des Gewichts, wie ihn die Formel ausdrückt, nachweisen. Ist z. B. das spannende Gewicht $= P$ und man verwandelt dieses in $4P$, so erhält man die Octave u. s. w.

14) Aufser den eben betrachteten transversalen Schwingungen gespannter Saiten geben dieselben auch *longitudinale*. Diese entstehn dadurch, daſs ein Theilchen einen Druck gegen das berührende ausübt, welcher sich dann jedem folgenden mittheilt, wonach die Compressionen und Expansionen vom einen Schwingungsknoten bis zum andern fortlaufen, dann umkehren, und so im steten Wechsel zwischen beiden Schwingungsknoten. Auch hierbei können die Wellen in der ganzen Länge der Saite so statt finden, daſs sie zuerst von B nach A laufen, dann bei A umkehren und nach B gelangen; es kann jedoch auch hierbei, wie bei den Transversalschwingungen, eine Abtheilung der Saite in mehrere gleiche Theile durch eine gewisse Anzahl $= n$ Schwingungsknoten, die gleichfalls $n + 1$ Theile der Saite geben, statt finden, wobei es zur Versinnlichung genügt, $n = 1$ zu setzen. In diesem Falle, wenn die Saite in N einen neuen Schwingungsknoten erhält, läuft die Welle von B nach N, kehrt dann um von N nach B; gleichzeitig setzt aber die Welle ihre Bewegung von N nach A fort und kehrt in diesem Puncte um, wenn sie in B zum zweiten Male beginnt, so daſs also die Richtungen so zu-

Fig. 83.

Fig. 84.

Digitized by Google

sammenfallen, wie die Pfeile in der Figur andeuten. In der Wirklichkeit bringt man solche Schwingungen hervor, indem man die Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit einem Bogen streicht, besser aber, wenn man sie mit etwas wollenem Zeuge, den Fingern, oder am besten mit Leder, worauf etwas Colophoniumpulver gestreut und eingerieben ist, der Länge nach streicht und schnell ihren Schwingungen frei überläfst. Das Streichen mufs nahe in der Mitte geschehn, wenn sie ganz schwingen soll, will man aber mehrere Schwingungsknoten erzeugen, so mufs man sie an den Stellen, wo diese entstehn sollen, leise mit dem Finger oder mit einem weichen Körper berühren. Die auf diese Weise erzeugten Töne sind nicht angenehm und werden daher nicht praktisch gebraucht, aufserdem aber sind sie ungleich höher, als die durch Transversalschwingungen der nämlichen Saiten erzeugten. Sie stimmen mit den letztern darin überein, dafs ihre Höhe den Saitenlängen umgekehrt proportional ist, dagegen aber kommt die Dicke und Spannung der Saiten weit weniger in Betrachtung, als die Substanz, woraus sie bestehn. So ist unter andern bei gleicher Länge und Spannung der Ton einer Messingsaite ungefähr eine Sexte höher, als einer Darmsaite, und einer Stahlsaite ungefähr eine Quinte höher, als einer Messingsaite, wovon der Grund ohne Zweifel in der gleichzeitig mitwirkenden eigenen Steifheit derselben liegt. Versuche lassen sich nicht füglich anders als mit sehr langen Saiten anstellen, wie denn Chladni zu den seinigen eine von 48 rheinl. Fufs Länge anwandte, die im Ganzen schwingend ungefähr den Ton einer 8 Fufs langen Orgelpfeife oder das grofse B gab[1].

b) Schwingende Stäbe.

15) Runde oder kantige Stäbe von verhältnifsmäfsig beträchtlicher Länge gegen ihre Dicke, die durch eigene Steifheit elastisch sind, schwingen auf ganz gleiche Weise, als gespannte Saiten, insofern ihre natürliche Steifheit die Span-

1 Chladni Akustik S. 77. erwähnt, dafs Riccati a. a. O. von longitudinalen Schwingungen der Saiten rede, ohne Zweifel aber ist er selbst der erste, welcher dieses Problem bearbeitet hat. S. dessen Entdeckungen über die Theorie des Klanges. S. 76. Berlin. musik. Monatschr. 1792. Aug.

Digitized by Google

nung ersetzt, die den letzteren künstlich gegeben werden muſs. Sie können daher gleichfalls an beiden Enden, aber auch bloſs an einem oder an jeder beliebigen Stelle fest eingeklemmt seyn, man kann sie ferner auflegen und auch leise berühren, um die Transversalschwingungen bei ihnen auf ähnliche Weise zu bedingen und zu modificiren, als dieses bei Saiten geschieht.

Fig. 85. Die Figur zeigt in a, b und c einige der verschiedenen Schwingungsarten eines an einem Ende befestigten, nicht berührten und berührten, und eines aufliegenden Stabes. In der Anwendung findet man solche bei den Stahlstiften der in der Schweiz häufig verfertigten kleineren und gröſseren Spieluhren und der sogenannten *Eisenvioline*, die aus stählernen, in den halbkreisförmigen Steg eines Resonanzbodens eingeschlagenen und mit einem Violinbogen gestrichenen Stäben besteht. Aufliegende Stäbe oder schmale Streifen von Glas, Stahl oder Holz, die an beiden Seiten ungefähr im vierten Theile ihrer Länge auf Strohseilen oder sonstigen weichen Unterlagen ruhen, und mit kleinen Klöppeln geschlagen werden, geben die *Strohfiddel* oder ein solches Instrument, wie es in der Zauberflöte von Papageno gespielt wird. Nach Chladni hat Hauck in Stuttgart ein solches mit Tasten eingerichtet, auch soll das *clavecin à cordes de verre* von Beyer in Paris und das *Glasschord* der Engländer von dieser Beschaffenheit seyn. Uebrigens benutzt man eine im Schraubstocke festgeklemmte Uhrfeder, oder eine sonstige Lamelle, um durch Streichen mit einem Violinbogen einen Ton hervorzubringen und hierdurch die demselben zugehörigen Schwingungsmengen zu zählen.

Die geometrische Untersuchung der genannten Schwingungen haben Daniel Bernoulli[1], L. Euler[2] zuerst unvollständig und nicht ganz richtig, nachher aber völlig befriedigend, Giordano Riccati[3] und neuerdings noch vollständi-

1 Comment. Petrop. T. XIII.

2 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate gaudentes. Add. I. p. 282. Acta Ac. Pet. 1779. T. III. p. 103.

3 Mem. di Mat. e Fis. della Soc. Ital. T. I. p. 444. Die Einwürfe, welche Pansner in: Investigatio motuum et sonorum, quibus laminae elasticae contremiscunt, Jen. 1801. 4. gegen die genannten Demonstrationen vorgebracht hat, erklärt Chladni für unrichtig.

Digitized by Google

ger Poisson[1] mitgetheilt, Herschel und Biot aber haben blofs die einfachen, durch Chladni[2] aufgefundenen, mit der Erfahrung übereinstimmenden Resultate aufgenommen, die sich auf die unter gegebenen Bedingungen statt findenden Schwingungsmengen in einer Secunde beziehn. Heifst diese bei Stäben oder andern diesen an Gestalt ähnlichen, transversal schwingenden Körpern N, die Dicke des Stabes D, die Länge L, die Steifheit oder Rigidität der Masse ϱ, das spec. Gewicht derselben, oder ihre Dichtigkeit δ, der Fallraum in einer Secunde g und eine constante Zahl der Schwingungen n, so ist

$$N = \frac{n^2 D}{L^2}\sqrt{\frac{2g\varrho}{\delta}}.$$

Bei Stäben aus der nämlichen Materie ist also $N = \frac{D}{L^2}$, d.h. die Höhe der Töne ist der Dicke der Stäbe direct und dem Quadrate ihrer Länge umgekehrt proportional[3]. Bei der nämlichen Schwingungsart und unter übrigens gleichen Bedingungen findet man hiernach die Rigidität der verschiedenen Körper $\varrho = \frac{N^2 L^4 \delta}{D^2}$. Chladni hat ferner theoretisch untersucht und durch Erfahrung geprüft, welche Töne bei gleichen Stäben, aber veränderten Schwingungsknoten entstehn müssen, und diese in Tabellen zusammengestellt; es scheint mir jedoch überflüssig, diese hier mitzutheilen. Dagegen füge ich noch die Bemerkung hinzu, dafs schwingende Stäbe, z. B. Stimmgabeln, im Anfange einen etwas tieferen Ton geben, als spä-

1 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VIII. p. 442.

2 Akustik. p. 101.

3 Chladni findet hiernach die bekannte Erzählung, dafs Pythagoras die Töne der drei Hämmer in der Schmiede ihren Gewichten proportional gefunden habe, die sich bei Nicomachus Cherasenus in Enchiridium harmonices p. 10. ed. Meibom., bei Jamblichus in Vita Pythag. cap. 26., bei Nicomachus Arithm. Introd. p. 171., bei Gaudentius in Isagoge harmonica p. 13. ed. Meibom., bei Macrobius in Somn. Scip. L. II. cap. 1. und Boëthius de Musica cap. 10. findet, falsch, ebenso wie die noch leichter als unrichtig zu erweisende Angabe, dafs ebenderselbe bei gleich langen und auch übrigens gleichen Saiten die Tonhöhen den angehängten Gewichten proportional gefunden habe, da sie vielmehr den Quadratwurzeln derselben proportional sind, wie oben gezeigt worden ist. Vgl. Forkel Geschichte der Musik. Th. 1. S. 320.

Digitized by Google

ter[1]. Die Ursache hiervon liegt wohl ohne Zweifel in den anfänglich längeren Excursionen der schwingenden Stäbe, die in dieser Hinsicht den in Kreisbogen schwingenden Pendeln gleichen, deren Schwingungen gleichfalls eine längere Zeit erfordern, wenn die Elongationswinkel gröfser sind[2].

16) Elastische Stäbe werden auf gleiche Weise, als gespannte Saiten, zur Erzeugung *longitudinaler* Schwingungen gebraucht, die bei beiden dem Wesen nach identisch sind, indem sich bei beiden die Schwingungsknoten nebst den zwischen diesen hin- und zurücklaufenden Wellen deutlich nachweisen lassen, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die ersten blofs an einem Ende fest eingespannt werden können, was bei den letztern der Natur der Sache nach unmöglich ist. Aufserdem kann man die Stäbe an beiden Enden, in der Mitte oder an einer oder mehreren Stellen festhalten, um daselbst Schwingungsknoten zu erzeugen. Die Körper, die sich hierzu eignen sollen, müssen einen gewissen Grad der Elasticität haben, und es wird der erzeugte Ton allezeit um so viel klingender seyn, je mehr diese Eigenschaft vorherrscht, wiewohl es Chladni gelungen ist, selbst Zinn und Fischbein dazu zu verwenden. Die Stäbe erfordern eine möglichst gleichmäfsige, nicht zu grofse Dicke, eine sehr glatte Oberfläche; zum Reiben derselben nimmt man bei Glas ein benetztes und mit etwas Bimssteinpulver bestreutes wollenes Läppchen, bei Metall oder Holz aber einen Streifen wollenes Zeug oder Leder, beide trocken und mit Colophoniumpulver bestreut. Am leichtesten gelingen die Versuche mit 4 bis 8 Fufs langen Barometer- oder Thermometerröhren, die man bei einiger Uebung in der Mitte mit den Fingern der einen Hand festhält und an dem einen freien Ende der Länge nach reibt, wobei es dann nicht schwierig ist, durch Festhalten derselben ungefähr im vierten oder achten Theile ihrer Länge und gehöriges Reiben an einer schwingenden Stelle die Octave und

1 Vergl. W. Weber in Poggendorff's Ann. XIV. 307. Bei guten Stimmgabeln mit parallelen Schenkeln findet dieses nach Scheibler nicht statt.

2 Strehlke hat interessante Untersuchungen über die Lage der Schwingungsknoten elastischer transversal schwingender Stäbe angestellt, deren Mittheilung jedoch hier zu viel Raum erfordern würde. S. Poggendorff's Ann. XXVII. 505. XXVIII. 512.

Digitized by Google

Doppeloctave des zuerst erhaltenen Tones, und selbst auch durch anderes Abtheilen in aliquote Theile Töne zu erhalten, die zwischen diesen Octaven liegen.

Neuerdings ist die Menge der hierüber bekannten Thatsachen durch W. Weber [1] um einige sehr interessante und belehrende Erscheinungen bereichert worden. Die Longitudinalschwingungen der Stäbe lassen sich nämlich leicht sichtbar machen, wenn man Scheiben, runde oder eckige, aus gemeinem oder Karten-Papier schneidet, sie in der Mitte durchbohrt und eng anschliefsend auf die Glasröhre steckt; hält man demnächst diese letztere in der Mitte fest, während durch Reiben am einen Ende ein Ton erzeugt wird, so schiebt sich die Scheibe, wenn auch ziemlich fest anschliefsend, allmälig bis in die Nähe der haltenden Finger fort. Noch interessanter, aber auch schwieriger ist ein durch Weber angegebener Versuch. Dieser nahm 4 bis 6 Fufs lange, 3 bis 6 Lin. weite Glasröhren, steckte in das untere Ende einen genauen passenden, an der Grenze der Röhre abgeschnittenen Glasstöpsel, hielt die in ihrer Mitte angefafste Röhre lothrecht und rieb das obere Ende mit einem nassen wollenen Läppchen. Sofort beim Entstehn des Längentones stieg der Glasstöpsel in die Höhe, bis in die Nähe des durch die berührenden Finger erzeugten Schwingungsknotens, und übte dabei eine solche Gewalt aus, dafs er zugleich eine darüberstehende, mehrere Fufs hohe Wassersäule hob. Als die Röhre voll Wasser gegossen und oben mit einem Glasstöpsel verschlossen war, war die durch die Longitudinalschwingungen erzeugte Gewalt so grofs, dafs das Wasser oben in feinen Strahlen herausspritzte. War die Röhre mit Wasser gefüllt, so gelangte der Stöpsel nicht bis zum Schwingungsknoten.

Die angegebenen Versuche sind sehr geeignet, das eigentliche Wesen der Longitudinalschwingungen aufzuklären, was insofern wichtig ist, als die nachher zu untersuchenden Schwingungen der Luftsäulen gleichfalls unter diese Classe gehören. Wenn man einen elastischen Stab aus seiner geraden Richtung biegt, so müssen die einander parallel laufenden gekrümmten Flächen, die convexe und die concave, nothwendig eine Zusammenziehung oder eine Ausdehnung oder wahr-

1 Schweigg. Journ. LIII. 308.

Digitized by Google

scheinlich gleichzeitig beides abwechselnd erleiden, indem sie beim Zurückschnellen jedesmal in den entgegengesetzten Zustand übergehn. Hieraus ergiebt sich, dafs bei elastischen Körpern eine gröfsere Näherung und Entfernung der Molecülen sehr häufig vorkomme, die wir sonach als die Ursache der durch transversale sowohl als auch durch longitudinale Schwingungen erzeugten Töne zu betrachten haben, indem sich beide dem Wesen nach nur dadurch von einander unterscheiden, dafs die Contractionen und Expansionen bei den erstern in der Regel gleichzeitig in der ganzen Länge zwischen zwei Schwingungsknoten statt finden, bei den letztern aber vom einen derselben bis zum andern abwechselnd hin- und zurücklaufen. Das wirkliche Vorhandenseyn solcher Verdichtungen und Verdünnungen wird später bei schwingenden Scheiben thatsächlich nachgewiesen werden. Die einzige Schwierigkeit, welche sich hierbei einer genauen Vorstellung des eigentlichen Vorganges entgegenstellt, entsteht aus der Bildung der Schwingungsknoten. Sehr leicht begreiflich ist die Entstehung derselben bei den Transversalschwingungen, wenn man sich z. B. denkt, dafs der in α und β ruhende Stab am einen Ende A seitwärts gebogen wird, dann diese Beugung über α hinaus fortsetzt, so dafs sie in der Mitte zwischen α und β ihr Maximum erreicht, in β wieder zur Ruhe übergeht und jenseit β in entgegengesetzter Richtung fortläuft; desto schwerer begreiflich dagegen ist das Fortlaufen der Verdichtungen und Verdünnungen bis zum Schwingungsknoten und das von hier aus, ungeachtet des statt findenden Ruhens, gleichzeitig erfolgende weitere Fortlaufen und Rückgehn derselben nach entgegengesetzten Seiten vom Schwingungsknoten aus. Eine genügende Erklärung dieses Verhaltens vermag ich nicht zu geben, indefs läfst sich die Sache durch ähnliche Erscheinungen mindestens etwas aufklären. Die Verdünnungen und Verdichtungen, die zum Wesen der Longitudinalschwingungen gehören, finden zwar bei allen Molecülen des tönenden Körpers statt, aber keineswegs bei allen auf gleiche Weise, indem vielmehr, wie die einzelnen Partikeln des Wassers bei den Wellen eigenthümliche Bewegungen annehmen, auch die einzelnen Theile des tönenden Stabes in verschiedenartige, zu einzelnen Gruppen gehörige Contractionen und Expansionen versetzt werden, von denen die zu einer durch die vorhandenen Ursachen bedingten Gruppe

Fig. 35c.

Digitized by Google

gehörigen Schwingungen den Ton erzeugen, ohne dadurch das Fortschreiten der Wellen durch die den Schwingungsknoten bildende Masse zu hindern. Als entfernt ähnlich darf man sich nur Folgendes vorstellen. Wenn im Wasser mit den Wellen parallel eine noch unter den tiefsten Punct der Wellen herabgehende Breterwand befestigt wäre, so würden sich an dieser allerdings die Wasserwellen brechen, aber dennoch jenseit derselben fortgehn. Auf gleiche Weise pflanzt sich der Stofs durch eine Reihe elastischer, sich gegenseitig genau berührender Kugeln fort, selbst wenn man irgend eine derselben festhält.

17) Für diese Ansicht läfst sich ein gewisses eigenthümliches Verhalten elastischer Stäbe bei transversalen Schwingungen anführen. Wenn man nämlich eine etliche Fufs lange, etwas dicke Thermometerröhre am einen Ende zwischen den Fingern oder an einem Faden gebunden herabhängen läfst und sie mit einem Stabe schlägt, so sieht das Auge langsamere Transversalschwingungen und das Ohr, dicht an die Röhre gehalten, hört leise Töne, die zu tief sind, um durch longitudinale Schwingungen erzeugt zu seyn, aber höher, als die sichtbaren transversalen geben könnten. Die durch letztere erzeugten Töne werden wahrgenommen, wenn man den Faden, woran die Röhre hängt, mit den Fingern zur unmittelbaren Berührung der Gehörwerkzeuge bringt, wobei nicht selten auch die höheren mittönen. Es ergiebt sich also hieraus noch deutlicher, als aus den Erscheinungen der Aeolsharfe, dafs verschiedene Töne, durch ungleich schnelle transversale Vibrationen erzeugt, gleichzeitig statt finden können, und dafs es neben denen, die einen Ton hervorbringen, auch solche giebt, welche wegen ihrer Schwäche nicht auf das Gehör wirken.

Ungleich wichtiger in dieser Beziehung sind diejenigen Erscheinungen, welche Savart[1] an Glasröhren und elastischen Blechen wahrgenommen hat, von denen ich hier blofs diejenigen mittheilen will, die sich bei der Anwendung der Glasröhren zeigen, indem die andern mehr dem Verhalten der

1 Ann. Chim. et Phys. T. XXIV. p. 56. T. XXV. p. 12. 138. 225.

Digitized by Google

Scheiben beizuzählen sind. Die Gebrüder Weber[1] haben die Versuche wiederholt, und wo die Resultate von denen ihres Vorgängers abweichen, habe ich die ihrigen durch eigene Experimente bestätigt gefunden. Sie wandten hierzu acht 6 F. und darüber lange 8¼ bis 2¼ Lin. Durchmesser haltende Röhren an, die sie in mehrere kürzere zerschnitten und an einem mehrmals zusammengelegten, an der inneren Seite mit einer klebenden Substanz bestrichenen Tuchstreifen festhielten, indem sie diesen herumlegten und die Enden zwischen einen Feilkloben festklemmten. Im Innern der Röhre wird (gefärbter) trockener Sand möglichst gleichmäfsig vertheilt, die Röhre in horizontaler Lage gehalten und auf die angegebene Weise durch Reiben des einen Endes mit einem nassen, durch etwas aufgestreutes Bimsteinpulver rauher gemachten, wollenen Läppchen in longitudinale Schwingungen versetzt. Während des Reibens hüpfen die einzelnen Sandkörner und nehmen eine Bewegung in der Richtung der Längenaxe der Röhre an, indem sie an verschiedenen Stellen nach beiden Seiten hin fortgleiten und an andern zwischen diesen liegenden aufgehäuft werden. Der Sand bildet daselbst 0,5 bis 2 Zoll lange[2], oval oder gewöhnlicher spitz auslaufende Häufchen, fünf bis neun zugleich, die in Beziehung auf die Mitte und Enden nicht allezeit symmetrisch geordnet sind, und nicht verdoppelt werden, wenn man die Röhre, statt in der Mitte, im vierten Theile ihrer Länge festhält und also einen höhern Ton als den frühern erzeugt; im Ganzen tönt aber die den Sand enthaltende Röhre minder leicht, als ohne diesen. Wenn man die Röhre so dreht, dafs die vorher nach oben gerichtete Fläche nach unten kommt, den Sand abermals darin vertheilt und wieder reibt, so bilden sich auf gleiche Weise die Häufchen, jedoch an andern Stellen, als vorher, wie man wahrnimmt, wenn man die ersten mit etwas Oelfarbe bezeichnet. Man kann auf diese Weise die Röhre allmälig ganz um ihre Axe drehen und erhält dann durch das Fortrücken der Sandhäuf-

1 Wellenlehre S. 555. Vergl. Schweigg. Journ. Bd. XLIV. S. 385. XLV. S. 257.

2 Mit einer 9,5 Fufs langen, 2,75 Lin. weiten Glasröhre und etwas vielem eingebrachten schwarzbraunen feinen Sande erhielt ich selbst 3 bis 3,5 Zoll lange Häufchen.

Digitized by Google

chen eine eigenthümliche, schraubenförmig gewundene, aus kurzen, fast quer um die Röhre sich beugenden Stücken a b, c d, e f, g h, und aus längeren, fast geraden bestehende Linie. Die erstern liegen in ziemlich gleich grofsen Abständen, die sich abwechselnd auf entgegengesetzten Seiten der Röhre befinden, und der Sand bildet auf ihnen stumpf endende, auf den letztern aber lang gestreckte Häufchen. Bei kurzen und weiten Röhren zeigen sich die Windungen absatzweise, bei langen und engen mehr schraubenförmig. Der Grund dieser eigenthümlichen und bei verschiedenen Röhren ungleichen Anordnung der genannten Linien ist noch nicht aufgefunden. Fig. 36.

Bei einem ganz einfach und ohne besondere Aufmerksamkeit angestellten Versuche bemerkt man sehr auffallend und leicht das schnelle Hüpfen, sowie das Hin- und Herlaufen des Sandes. Genauere Beobachtungen aber zeigen bei einigen, besonders denen der Mitte nahe liegenden Sandhäufchen ein Umlaufen der einzelnen Sandkörnchen in einer elliptischen Bahn, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist; dafs aber die Bewegungen der Sandkörnchen zu beiden Seiten der festgehaltenen Mitte einander entgegengesetzt gerichtet seyn sollten, wie Savart beobachtete, haben die Gebrüder Weber nicht bestätigt gefunden, indem es blofs dann statt findet, wenn von der Mitte der Röhre aus zwei entgegengesetzt gewundene Schraubenlinien ausgehn, was ersterer gleichfalls als Regel, letztere aber nur als Ausnahme betrachten. Nach letzteren bilden überhaupt die Stellen, an denen sich der Sand aufhäuft, nur bei langen und engen Röhren solche schraubenförmige, einander parallel laufende Linien, bei kurzen und weiteren dagegen regelmäfsig wechselnde, auf der Axe fast rechtwinklige Linien, deren eine Hälfte zerstreuend, die andere sammelnd wirkt. Die Sandkörnchen, die sich auf den sammelnden Stellen befinden, ändern ihren Ort nicht, auf den zerstreuenden aber theilen sie sich in zwei Hälften, wie die Richtung der Pfeilspitzen andeutet, und wandern nach entgegengesetzten Seiten, diejenigen, die zwischen diesen beiden genannten Stellen liegen, wandern nach der ihnen zunächst liegenden sammelnden Stelle hin. Der ganze Vorgang, wie er sich bei zwei Röhren von fast 3 F. Länge, 8¼ L. Durchmesser und 7¼ L. Weite zeigte, und welchen Weber für die normale Erscheinung hält, statt dafs die Bildung der Schrau- Fig. 37. Fig. 38.

Digitized by Google

benlinien eine Abnormität seyn soll, ist folgender. Liegt ein Sandhäufchen in A, und wird die Röhre allmälig gedreht, bis es nach a gelangt, so befindet es sich auf der zerstreuenden Linie, die zur Unterscheidung punctirt ist, weil sie sich auf der abgewandten Seite der Röhre befindet. Hier theilt es sich sogleich in zwei Hälften, deren eine nach x hin wandert und aus der Röhre fällt, die andere aber nach b zur zweiten sammelnden Linie B, wo sie ruht und bei fortwährendem Reiben der Röhre und Drehen derselben den Ort nicht ändert, so lange sie auf dieser sammelnden Linie bleibt, bis sie an die Grenze a kommt. An dieser Stelle, dem Anfange der zerstreuenden Linie, theilt sich das Häufchen abermals in zwei Hälften, wovon die eine nach dem Ende b der Linie A wandert und, wenn die Röhre in der früheren Richtung gedreht wird, von b nach a, womit der Kreislauf vollendet ist; die zweite Hälfte geht nach b der sammelnden Linie C, von hier bei fortgesetzter Drehung der Röhre nach a dieser nämlichen Linie, trennt sich hier wieder in zwei Hälften, wovon die eine nach b der sammelnden Linie B rückwärts, die andere nach b der sammelnden Linie D wandert und so fort, wie es aus dem bisher Gesagten von selbst folgt. Diese Schwingungen, denen ähnliche sich auch bei Glasstreifen zeigen, sind nach Weber's richtiger Bemerkung keineswegs die den Ton erzeugenden, welcher zwar hoch ist, aber für solche Längen viel zu tief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man lange Röhren zuerst in der Mitte, dann ungefähr im 4ten Theile ihrer Länge hält, hierdurch einen höhern Ton erzeugt und gleichzeitig die Lage der Sandhäufchen beobachtet. Die Schwingungen sind also von einer höhern Ordnung, die den Ton zwar bedingen, aber nicht erzeugen, denen ähnliche sich auch bei andern gläsernen Körpern leicht nachweisen lassen[1].

Fig. 89.

18) Die Lage und Zahl der Schwingungsknoten solcher tönender Stäbe hängt ab von den Stellen, wo sie gehalten

1 Man kann bei der Erzeugung der Figuren durch longitudinale Schwingungen in Glasröhren auch Lycopodiensamen anwenden, und erhält dann ähnliche interessante Resultate, als diejenigen, die Faraday bei den transversalen Schwingungen elastischer Scheiben untersucht hat §. 32. Es scheint mir indefs nicht nothwendig, diese so leicht darstellbaren Erscheinungen ausführlicher anzugeben.

Digitized by Google

und wo sie berührt werden. Sind sie ganz frei, so erhalten sie in der Mitte einen Schwingungsknoten, und der Ton ist also gleich hoch, wenn man den Stab durch sein Gewicht zwischen dem reibenden Läppchen herabgleiten läfst, welches jedoch nicht ohne grofse Schwierigkeiten geschieht, oder wenn man ihn in der Mitte hält. Wird derselbe aber ungefähr im vierten Theile seiner Länge gehalten und am besten in der Mitte oder nahe am andern Ende gerieben, so giebt er die Octave und hat zwei Schwingungsknoten, deren man drei hervorbringen kann, wenn man ihn ungefähr am sechsten Theile seiner Länge fafst. Diese Töne stehen also im Verhältnisse 1, 2, 3, 4 oder 2, 4, 6, 8. Ist der Stab am einen Ende unbeweglich befestigt und wird er in nicht grofser Entfernung vom andern Ende gestrichen, so erhält man einen Ton, welcher um eine Octave tiefer ist, als wenn man ihn in der Mitte hält, woraus also hervorgeht, dafs er dann nur an beiden Enden Schwingungsknoten hat. Auch bei einem so befestigten Stabe lassen sich durch Berührung noch andere Schwingungsknoten erzeugen, so dafs man eine Reihe von Tönen erhält, deren Reihenfolge durch die Zahlen 1, 3, 5, 7 bezeichnet werden kann und zwischen denen also gleichfalls die eben genannten 2, 4, 6, 8 liegen. Wird der Stab an beiden Enden zwischen Schraubstöcke festgeklemmt, so erhält er zunächst aufser an beiden Enden keinen Schwingungsknoten, er kann jedoch auch noch einen in der Mitte oder auch zwei, jeden im dritten Theile seiner Länge, erhalten[1].

Nach Chladni's Versuchen ist die Dicke und Spannung der Saiten und Stäbe von gar keinem Einflusse auf die Tonhöhe, sondern letztere wird blofs durch die Länge und durch die Beschaffenheit der Materie bedingt, woraus die Stäbe bestehn. Rücksichtlich der Saiten, bei denen eine stärkere künstliche Spannung statt finden kann, die bei Stäben nicht wohl möglich ist, haben die Gebrüder Weber[2] diese Behauptnng geprüft, und gefunden, dafs allerdings die Spannung eine Erhöhung des Tones bewirkt, ohne dafs jedoch ein regelmäfsiges Verhältnifs zwischen beiden statt findet, indem eine Ver-

1 Chladni über longitudinale Schwingungen der Stäbe. Erfurt 1796. Akustik S. 104.

2 Wellenlehre S. 553.

Digitized by Google

mehrung des spannenden Gewichtes auf das Zweifache eine Erhöhung des Tones zur kleinen Quarte erzeugte, die bei einer Vermehrung bis zum Fünffachen um nicht mehr als eine grofse Secunde wuchs; Chladni hat daher vermuthlich die Spannung der bereits stark gespannten Saiten vermehrt und die dadurch bewirkte geringe Erhöhung des Tones nicht beachtet. Bei der Untersuchung der Tonhöhen longitudinal schwingender Stäbe kommt aber das Gesetz sehr in Betrachtung, welches Chladni aufgefunden und La Place nachher in Beziehung auf die Fortpflanzung des Schalles aus theoretischen Gründen bestätigt hat, nämlich dafs die Longitudinalwelle die gegebene Länge eines Stabes in der nämlichen Zeit durchläuft, in welcher derselbe einmal hin und her schwingt. Hierbei kommt dann noch die Analogie in Betrachtung, welche zwischen den Longitudinalschwingungen der tönenden Luftsäulen und der Stäbe statt findet, indem bei beiden die Longitudinalschwingung für eine gegebene Länge gerade so viel Zeit erfordert, als diejenige beträgt, in welcher der Schall durch dieselbe fortgeleitet wird. Ist hiernach also die Tonhöhe bekannt, welche die Luftsäule und ein gegebener Stab, beide von gleicher Länge, durch Longitudinalschwingungen geben, so läfst sich hiernach das Verhältnifs der Geschwindigkeiten in beiden durch Vergleichung beider Tonhöhen auffinden, wie dieses durch Biot[1] mit Benutzung der Chladni'schen Versuche geschehn ist. Heifst diesemnach bei der Luft die Zeit T, die Länge der Welle α und die Geschwindigkeit a, und werden die nämlichen accentuirten Bezeichnungen für einen Stab gebraucht, so ist

$$\alpha = a\,T \text{ und } \alpha' = a'\,T'.$$

Sowohl die Luftsäule in einer offenen Pfeife, als auch ein an beiden Enden freier Stab haben in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten, wonach also bei ihnen die von der Longitudinalwelle durchlaufene Länge gegeben ist. Heifst diese L', so ist

$$L' = a'\,T' \text{ und also } a' = \frac{L'}{T'},$$

und wenn die Longitudinalwelle in der Luft für eine gleiche Länge die Zeit T bedürfte, so wäre

1 Traité de Physique cet. T. II. p. 85.

Digitized by Google

$$L' = a\,T \text{ und diesemnach } a' = a\,\frac{T}{T'}.$$

Ist ferner die Anzahl der Schwingungen, die den erhaltenen Tönen zukommt, anderweitig bekannt, und nennt man diese bei der Luftsäule N, bei einem Stabe N', so ergiebt sich

$$a' = a\,\frac{N'}{N}.$$

Die von Chladni gebrauchten Stäbe hatten die Länge von zwei rheinländischen Fufsen, und da eine Pfeife von dieser Länge, wenn sie an beiden Enden offen ist und demnach in der Mitte einen Schwingungsknoten, wie die schwingenden Stäbe, erhält, einen Ton giebt, welcher in der Tonleiter eingestrichen c ($\bar{c}$) heifst, so ist der Werth von N hierdurch gegeben[1] und man hat also

$$\frac{a'}{a} = \frac{N'}{\bar{c}} \text{ und folglich } a' = a\,\frac{N'}{\bar{c}},$$

wodurch das Verhältnifs der Geschwindigkeit der Schallwellen in der Luftsäule zu der im Stabe und die absolute Gröfse der letzteren gegeben ist. Hiernach erhielt Chladni mit seinen gleich langen, aus verschiedenen Substanzen verfertigten Stäben folgende Gröfsen:

1 Vergl. §. 95.

Digitized by Google

Substanzen	Erhaltene Töne	Einfache Geschwindigkeit
Fischbein ungefähr	dreigestrichen a	$6\frac{1}{3}$
Englisches Zinn —	— h	$7\frac{1}{2}$
Silber, ungefähr 15löth.	viergestrichen d	9
Nufsbaumholz, Taxusholz[1] —	— f	$10\frac{2}{3}$
Messing, Eichenholz, Pflaumbaumholz —	— fis	$10\frac{1}{3}$
Thönerne Pfeifenstiele	— e bis g	10 bis 12
Kupfer beinahe —	— g	12
Birnbaumholz, Rothbuchen, Ahorn —	— gis bis a	$12\frac{1}{2}$ bis $13\frac{1}{3}$
Mahagoni, gewöhnliches	— b fast	$14\frac{2}{3}$
Ebenholz, Weifsbuchen, Rüstern, Erlen, Birken ungefähr	— b	$14\frac{3}{4}$
Linden beinahe —	— h	15
Kirschbaum —	— h	15
Weiden, Kiefern[2] —	fünfgestrichen c	16
Glas, Eisen[3] ungefähr	— cis	$16\frac{2}{3}$
Tannen, höher als	— cis	$16\frac{2}{3}$ bis 18.

Diese Resultate sind zwar nicht absolut sicher, aber doch in einem ziemlich hohen Grade, und auf jeden Fall folgt aus ihnen die gröfsere Geschwindigkeit der Schallwellen in diesen Körpern, als in der atmosphärischen Luft. Nimmt man die Töne von Fischbein und Zinn aus, die ohnehin etwas dumpf

1 Bei dieser Holzart kann der Ton noch höher werden, wenn die Fibern gerader sind.

2 Bei mehr schrägen Fasern war der Ton fast eine Tertie tiefer.

3 Zwischen weichem Eisen und hartem Stahl war kein merklicher Unterschied.

Digitized by Google

und undeutlich sind, so liegen alle andere im Umfange einer einzigen Octave. Läfst sich hiernach annehmen, dafs die Tonhöhen bei den verschiedenen Körpern durch den Grad ihrer Starrheit (Sprödigkeit) und die Nähe ihrer Elementartheilchen (spec. Gewicht) bedingt werden, so folgt aus der geringen Verschiedenheit derselben bei sehr ungleichen Substanzen, als Glas, Eisen und Tannenholz, dafs die eine dieser Bedingungen durch die andere compensirt wird. Bezeichnet man demnach die relative Geschwindigkeit, die der bestimmten Schwingungsart nach der Zahl der Schwingungsknoten zukommt, durch n, die Länge des Stabes durch L, die Elasticität (Sprödigkeit) durch ϱ, das specifische Gewicht durch δ, so scheint die Zahl der Schwingungen oder der erzeugte Ton

$$N' = \frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

zu seyn. Inzwischen beruht dieser Ausdruck keineswegs auf hinlänglich begründeten Thatsachen. Eine geometrische Construction der longitudinalen Schwingungen der Stäbe hat Poisson in seiner erwähnten Abhandlung geliefert, deren ausführliche Mittheilung sich für den vorliegenden Zweck nicht eignet. Merkwürdig ist jedoch das Verhältnifs, welches derselbe auf diese Weise zwischen den transversalen und longitudinalen Schwingungen aufgefunden hat und welches auf der Gestalt der Stäbe beruht. Am leichtesten und sichersten ist dasselbe bestimmbar bei runden und parallellepipedischen Stäben[1]. Sind diese an beiden Enden frei, so dafs sie den tiefsten Ton geben, nennt man ihre Länge L, ihre Dicke oder bei runden ihren Durchmesser e, die Menge der longitudinalen Schwingungen in einer Secunde n, der transversalen n', so ist für kantige Stäbe

$$n' = (2{,}05610)\,\frac{ne}{L}$$

und für runde

$$n' = (1{,}78063)\,\frac{ne}{L}.$$

Nach Versuchen, die Savart zur Prüfung dieser Formel angestellt hat, ergiebt sich eine so genaue Uebereinstimmung, als man bei einer so schwierigen Aufgabe erwarten kann.

---

1 Ann. Chim. Phys. T. XXXVI. p. 87.

Digitized by Google

19) Chladni[1] hat zuerst entdeckt, dafs Töne auch durch *drehende* Schwingungen der Stäbe erzeugt werden, und er scheint auch bis jetzt der einzige zu seyn, welcher diese am wenigsten interessanten näher betrachtete. Im Ganzen hängen auch diese mit der Elasticität [2] der Körper zusammen, die in fadenförmiger Gestalt, wenn sie gedreht werden, mit bedeutender Geschwindigkeit wieder in ihre vorige Lage zurückkehren, nach dem Gesetze der Trägheit über diese hinausgehn und auf diese Weise pendelartig sowohl anhaltend als auch regelmäfsig vibriren. Die Stäbe, womit man diese Töne hervorbringt, müssen rund und glatt seyn, wobei schon aus der Analogie folgt, dafs sie ebenso wie bei den longitudinalen Schwingungen ganz frei gehalten werden, oder an einem oder an beiden Enden eingeklemmt seyn, auch durch Berührung an verschiedenen Stellen noch andere Schwingungsknoten erhalten können. Nach Biot[3] kommen die Töne dann zum Vorschein, wenn man sie mit einem Bogen streicht, allein ich habe dieses nie versucht oder vielmehr auf diese Weise blofs transversale Schwingungen erzeugen können. Chladni, den ich um das geeignete Verfahren, sie hervorzubringen, fragte, gab mir kein anderes an, als dasjenige, wodurch man sie zwar schwieriger, als die longitudinalen Töne, dennoch aber bei langen, namentlich gläsernen Röhren oder Stäben jederzeit unfehlbar hervorbringt. Man hält den Stab in seiner Mitte zwischen den Fingern der einen Hand und reibt das freie Ende auf die bekannte Weise mit einem nassen wollenen, durch aufgestreutes Bimssteinpulver hierzu bereiteten Läppchen so, dafs die Longitudinaltöne in möglichster Vollkommenheit zum Vorschein kommen. An derjenigen Stelle der Röhre, wo dieses geschieht, hält man das Läppchen mit etwas stärkerem Drucke, als für die longitudinalen Schwingungen erfordert wird, fest und dreht die Röhre mit den sie haltenden Fingern durch Rollen um ihre Axe, worauf der Ton sogleich um so hörbarer erzeugt wird, je länger die Röhre ist.

Chladni giebt an, diese durch drehende Schwingungen

---

1 Neue Schriften der Berlin. Ges. Naturf. Freunde. Bd. II. S. 274. G. II. 87.

2 S. *Elasticität*. Bd. III. S. 194.

3 Traité de Phys. T. II. p. 88.

Digitized by Google

erzeugten Töne seyen allezeit eine *Quinte* tiefer, als die mit demselben und auf gleiche Weise gehaltenen Stabe erzeugten Longitudinaltöne, und diese Behauptung ist nicht blofs in alle spätere Lehrbücher übergegangen, sondern Biot[1] gründet hierauf zugleich eine Erklärung derselben. Hiernach sollen die zu den Vibrationen gehörigen Zusammendrückungen der Theilchen nicht in einer auf die Axe der Röhre rechtwinkligen, sondern in einer dieselbe im Winkel von 45° schneidenden Richtung erfolgen, hierdurch aber die Länge um so viel vermehrt werden, dafs hierdurch der tiefere Ton erfolgen müsse. Diese Verlängerung betrage nämlich $\sqrt{2}$, die ursprüngliche $= 1$ gesetzt, und weiche demnach nicht merklich von $\frac{1}{2}$ oder noch weniger von $\frac{1}{2}\frac{6}{5}$ ab, wenn man die kleine Quinte nimmt. Nimmt man die grofse Quinte, so ist das Verhältnifs $= 1{,}5$, welches von $\sqrt{2} = 1{,}4175$ nicht ganz unmerklich, mindestens rücksichtlich eines wahrnehmbaren Unterschieds des Tones, abweicht. Von gröfserer Wichtigkeit aber ist der Umstand, dafs der durch drehende Schwingungen erzeugte Ton bei Glasstäben und Glasröhren, deren ich eine sehr grofse Menge untersucht und mit Hülfe eines geübten Musikers nach einem Instrumente verglichen habe, um mehr als selbst die grofse Quinte, nämlich um die kleine Sexte oder selbst die volle Sexte, tiefer ist, so dafs also 1,6 und $\sqrt{2} = 1{,}4174\ldots$ einen zu merklichen Unterschied geben. Aus diesem Grunde und nach der eigenthümlichen Art zu schliefsen, wie diese Töne erzeugt werden, scheint mir Biot's Hypothese unzulässig, dagegen könnten die eben erwähnten Untersuchungen von Savart und Weber über die ruhenden und vibrirenden Theile der Röhren und das Verhältnifs ihrer Lage gegen einander bei Longitudinalschwingungen zur nähern Einsicht dieser Erscheinungen führen. Ist endlich das Verhältnifs der durch drehende Schwingungen erzeugten zu den Längentönen ein constantes, und nach Chladni das der Quinte, nach meinen Versuchen das der Sexte, so würde die angegebene Formel

$$N' = \tfrac{2}{3}\,\frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}} \quad \text{oder} \quad N' = \tfrac{10}{16}\,\frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

als ein allgemeiner Ausdruck für dieselben gelten können.

---

1 Traité. T. II. p. 88.

Digitized by Google

Ungleich weiter aber, als durch die bisher genannten Gelehrten geschehn ist, hat Poisson in seiner bereits erwähnten Abhandlung[1] diese Aufgabe gebracht. Durch theoretische Betrachtungen, gegründet auf die Gesetze der Elasticität, findet er nämlich, wenn n die longitudinalen und n' die drehenden Schwingungsmengen bezeichnen, die mit dem nämlichen Stabe von der Länge L erzeugt werden,

$$n = \frac{a}{L} \text{ und } n' = \frac{c}{L},$$

dann aber $a = c\sqrt{\frac{1}{2}}$, woraus das Verhältnifs

$$\frac{n}{n'} = \frac{1}{2}\sqrt{10} = 1{,}5811$$

hervorgeht. Savart hat das Verhältnifs = 1,6668, also noch gröfser als die volle Sexte = 1,6 gefunden und Poisson meint sonach, dafs das durch ihn erhaltene Verhältnifs sehr nahe dem Mittel aus beiden gleich sey. Allein sobald von Glasstäben die Rede ist, wofür beide genannte Gelehrte kein abweichendes Gesetz angeben, so kann ich über das Resultat meiner Versuche, die ich in zu grofser Menge angestellt habe, nicht in Zweifel seyn, dafs nämlich bei diesen der Unterschied keine volle Untersexte ausmacht, und diesemnach ist das durch Poisson aufgefundene Resultat an sich absolut richtig. Für einen freigehaltenen Stab findet derselbe ferner, dafs die Vibrationsmengen in einer gegebenen Zeit blofs von der Gröfse $\frac{k}{\varrho}$ abhängen, wenn k die aus der Beschaffenheit der Masse folgende eigenthümliche Elasticität (wofür sich ein zusammengesetzter analytischer Ausdruck finden läfst) mit Rücksicht auf die Temperatur, ϱ aber die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnet Hiernach wird

$$n = \frac{a}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}},$$

und wenn n_1 die Vibrationsmengen des nämlichen transversal schwingenden Stabes bezeichnet,

---

1 Mém. de l'Inst. sc. Phys. et math. T. VIII. p. 357. Die hierher gehörige Stelle p. 456. Vergl. Ann. Ch. Phys. T. XXXVI. p. 337. Daraus in Poggendorff's Ann. XIII. 383.

Digitized by Google

$$n = \frac{\lambda^2 \varepsilon}{4\pi L^2} \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$$

Hierin ist λ das Volumen und ε die Dicke. Demnach findet Poisson

$$n_1 = (3{,}5608)\,\frac{\varepsilon}{2L} \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$$

und

$$\frac{n_1}{n} = (3{,}5608)\,\frac{\varepsilon}{L}.$$

Savart prüfte dieses Resultat durch Versuche und fand, indem er den Stab, dessen Longitudinalschwingungen geprüft waren, für die transversalen um das Achtfache verkürzte:

1) für einen messingnen Stab

$L = \frac{1}{8}$ (0m,825)	$\varepsilon = 2^{mm},4$	$n = 34133$
Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2844$	$n_1 = 2829$	-15

2) für einen Stab von Kupfer

$L = \frac{1}{8}$ (0m, 825)	$\varepsilon = 1^{mm},7$	$n = 36864$
Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2133$	$n_1 = 2164$	$+31$

3) für einen Stab von Eisen

$L = \frac{1}{8}$ (0m,88)	$\varepsilon = 2^{mm},25$	$n = 45514$
Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 3686$	$n_1 = 3683$	-3

Auch W. Weber[1] hat das durch Poisson aufgestellte Theorem auf dem Wege der Erfahrung so weit bestätigt gefunden, als die Fehlergrenze bei Versuchen dieser Art gestattet.

20) Die Stäbe, deren Schwingungsgesetze bisher untersucht worden sind, wurden als gerade angenommen, mindestens ohne merkliche oder auffallende Krümmung. Sobald sie gekrümmt werden, ändert sich die Lage der Schwingungsknoten auf eine

1 Poggendorff's Ann. XIV. 175.

Digitized by Google

Weise, welche Chladni durch eine Vergleichung mit denen der geraden Stäbe anschaulich gemacht hat. Am leichtesten erhält man bei einem geraden Stabe einen Ton, wenn man denselben A B am einen Ende bei ungefähr nicht völlig dem vierten Theile seiner Länge in α oder β festhält und am kürzern Ende mit dem Bogen streicht, indem sich dann die beiden Schwingungsknoten α und β bilden. Wird dieser Stab in der Mitte gekrümmt, so nähern sich die Schwingungsknoten einander, wie die Zeichnung angiebt, bis beide Schenkel parallel werden, beide Schwingungsknoten fast zusammenfallen und man die *Stimmgabel* (*diapason*) erhält, indem man den Stab an der Krümmung mit einem Stiele versieht, um diesen festzuhalten und hauptsächlich durch das Aufstemmen desselben auf eine feste Unterlage den Ton stärker und klingender zu machen. Beide Schenkel schwingen dann isochronisch beim Vorhandenseyn eines einzigen bedeutend ausgedehnten Schwingungsknotens und die tiefere Tonhöhe verhält sich zu der des geraden Stabes wie 16 zu 25. Da aber die Tonhöhe eines Stabes mit einem einzigen Schwingungsknoten sich zu der mit zwei Schwingungsknoten wie 1 zu 2 verhält, so ergiebt sich hieraus, dafs beim Tönen einer Stimmgabel nicht ein genau in der Mitte liegender Schwingungsknoten vorhanden sey, sondern dafs man deren zwei annehmen müsse, die einander sehr nahe liegen. Dessen ungeachtet schwingt keineswegs jeder der beiden Schenkel für sich und unabhängig vom andern, vielmehr tönt keiner, wenn man den einen berührt, wird aber der eine in einem Schraubstocke festgeschraubt, so kommt ein tieferer Ton zum Vorschein, welcher durch die Länge und Gestalt des Stieles bedingt wird. In die Mitte zwischen die beiden Schwingungsknoten über dem Stiele kann kein neuer fallen, weswegen drei Schwingungsknoten, bei geraden Stäben so leicht zu erhalten, bei der Stimmgabel unmöglich sind. Bei dieser, auf welche das Vorhandenseyn des Stieles einen so bedeutenden Einfluſs ausübt, dürfte es schwer seyn, mehr als die bestehenden zwei Schwingungsknoten hervorzubringen, bei blofs gekrümmten Stäben mit parallelen Schenkeln hat aber Chladni das Vorhandenseyn mehrerer aufgefunden, unter denen 4 am leichtesten erhalten werden, deren Lage in n, n′ und NN′, so wie die durch die Vibrationen entstehenden Curven durch die Figur versinn-

Fig. 40.

Fig. 41.

Digitized by Google

licht werden. Hiernach giebt es folgende einander zugehörige Gröfsen:

Zahl der Schwingungsknoten	2	4	5	6	7	8
Zugehörige Töne	c	gis	fis	d	gis	cis

Die Reihe der möglichen Töne scheint noch weiter fortzugehn, ihre Hervorbringung dürfte jedoch grofse Schwierigkeiten haben. Die hier angegebenen erhält man vermittelst vierkantiger Stäbe von Eisen, Messing oder einem sonstigen elastischen Körper, etwa 0,5 Zoll breit, die man im äufsersten Schwingungsknoten locker zwischen den Finger hält und am Ende mit einem Violinbogen streicht.

Giebt man einem Stabe andere Krümmungen, als die eben beschriebene, so erhält man andere Töne, unter denen die eines Ringes zunächst Beachtung verdienen[1]. Dieser wird am besten aus etwas starkem Messingdrahte verfertigt, den man kreisförmig biegt und an den Enden mit Schlagloth sauber zusammenlöthet. Man legt ihn dann mit den Stellen, wo Schwingungsknoten hinfallen sollen, horizontal auf weiche Unterlagen von Kork, drückt ihn mit den Fingern nicht so stark an und streicht an einer Stelle, wo Schwingungsbogen hinfallen, in verticaler Richtung mit einem Violinbogen. Der Ring erhält hierbei allezeit eine gerade Anzahl von Schwingungsknoten, wie dieses aus der Natur der Sache folgt; denn bei einem Stabe sind die durch einen Schwingungsknoten von einander getrennten Schwingungen allezeit entgegengesetzt, mithin müfste, wenn ein Ring z. B. drei Schwingungsknoten in A, B und C hätte und sonach der Theil AB dem Theile BC entgegengesetzt vibrirte, der Theil AC beiden entgegengesetzt vibriren, was unmöglich ist. Chladni zeigt daher, dafs die Reihenfolge der Töne, welche L. Euler[2] und Golowin[3] für verschiedene Abtheilungen der Ringe theoretisch gefunden haben, mit der Erfahrung nicht übereinstimme, aus welcher vielmehr folgende zusammengehörige Gröfsen hervorgehn: Fig 42.

1 Vergl. Lexel über die Schwingungen eines Ringes in Acta Petrop. 1781. T. V. p. 185.

2 Nov. Comm. Pet. T. X. u. Acta Ac. Pet. Ann. 1779.

3 Acta Ac. Pet. 1781. P. II.

Digitized by Google

Zahl der Schwingungknoten	4	6	8	10	12	14
Töne	$\overline{c}$	$\overline{fis}$	$\overline{\overline{fis}}$	$\overline{\overline{dis}}$	$\overline{\overline{a}}$	$\overline{\overline{\overline{dis}}}$
Zahlen, mit deren Quadraten d. Töne übereinkommen	3	5	7	9	11	13

Die Untersuchung der Töne anderweitig gekrümmter, gleichmäfsig und ungleichmäfsig dicker Stäbe würde ein sehr weites Feld der Forschungen darbieten, jedoch ohne die Hoffnung eines zu erwartenden praktischen Nutzens.

c) Gespannte Membranen.

21) Die Untersuchung der Schwingungen gespannter Membranen dürfte unter allen akustischen Problemen die gröfsten Schwierigkeiten darbieten, wenn man die möglichen Arten theoretisch bestimmen und die erhaltenen Resultate durch die Erfahrung prüfen wollte; inzwischen würde die hierauf verwandte Mühe um so weniger belohnend seyn, als die in der Wirklichkeit vorkommenden ohne Zweifel sehr einfach sind. Sie finden sich nämlich blofs bei den Trommeln und den Pauken, unter denen die erstere ohnehin von sehr untergeordneter Bedeutung ist. Allerdings hat auch diese eine schwingende Membrane, deren Vibrationen bei gleichmäfsiger Spannung gleichmäfsig und also einen eigentlichen Ton erzeugend seyn könnten, allein bei dem eigenthümlichen Baue und der Stimmungsart derselben ist diese gleichmäfsige Spannung schwerlich vorhanden, aufserdem aber haben zwar die sogenannten türkischen Trommeln nur eine einzige Membrane, dagegen aber einen ungleich weniger festen, vielfachen Beugungen ausgesetzten Ring, die gemeinen Trommeln aber haben zwei Membranen, deren Vibrationen nicht füglich ganz gleichmäfsig seyn können und daher einander stören, um so mehr, als die untere durch den Stimmriemen gedämpft wird. Es ist diesemnach fraglich, ob man die Trommel noch unter die eigentlich tönenden, also musikalischen Instrumente rechnen könne oder ob sie nicht vielmehr blofs zur Erzeugung von Lärm oder Geräusch diene. Allerdings nimmt das Ohr bei zwei verglichenen Trommeln eine Art von Unterschied der Höhe und

Digitized by Google

Tiefe wahr, allein wenn mehrere Trommeln in beliebiger Menge gleichzeitig geschlagen werden, die doch zuverlässig nicht unison gestimmt seyn können, so hört doch das Ohr keine eigentliche Dissonanz, wie beim gleichzeitigen Tönen dissonirender Instrumente, und wollte man ihnen daher den Rang eines musikalischen Instruments beilegen, so stehn sie auf jeden Fall an der äufsersten Grenze und sind wohl richtiger, hauptsächlich aus dem zuletzt angegebenen Grunde, davon auszuschliefsen. Den Pauken dagegen kann man diesen Rang bei der deutlich wahrnehmbaren Verschiedenheit des Tones, worin sich die besseren mit bedeutender Reinheit stimmen lassen, nicht streitig machen und somit können auch ihre Schwingungsgesetze ein Gegenstand der Forschung werden.

22) Eine an beiden Enden gespannte Membrane von überwiegend gröfserer Länge als Breite schwingt nach Chladni's unbezweifelt richtiger Ansicht[1] einer gespannten Saite analog; es lassen sich daher in jener eben diejenigen Knotenlinien annehmen, die in dieser vorhanden sind, obgleich auch neben diesen, den Ton bedingenden, noch andere von verschiedenen Ordnungen auf gleiche Weise, als bei starren schwingenden Blechen und Stäben, vorhanden seyn mögen. Mit einem allseitig gleichmäfsig gespannten Paukenfelle, welches B gab, will Giordano Riccati[2] durch Erzeugung von eigenthümlichen Schwingungsknoten noch den Ton a und dann noch ē erhalten haben, allein Chladni zeigt mit Recht, dafs die Schwingungen einer langen, an beiden Enden gespannten Membrane auf ein rundes, in seinem ganzen Umfange gespanntes Paukenfell keine Anwendung leiden. Nach seiner Ansicht kann letzteres blofs eine diametral dasselbe schneidende Knotenlinie a b oder am leichtesten eine kreisrunde m n o, Fig. deren auch zwei und vielleicht sogar noch mehrere vorhanden seyn könnten, oder endlich diese beiden Arten mit einander verbunden erhalten. Allerdings kommen bei starren elastischen runden Scheiben nicht blofs diese, sondern noch ungleich mehr zusammengesetzte Knotenlinien vor, allein bei diesen findet auch der wesentliche Unterschied statt, dafs der Umkreis eine freie Beweglichkeit hat, welcher beim Pauken- 43.

1 Akustik S. 77.

2 Saggi scientif. e litterari dell' Accad. di Padova. T. I. p. 419.

Digitized by Google

felle gleichmäfsig gespannt ist. Sollte dann eine solche Knotenlinie, wie a b ist, entstehn, so müfste der Theil e c niedersteigend, c d aber gleichzeitig aufsteigend seyn und an diesen Schwingungen müfsten beide Halbkreisflächen in der Art Antheil nehmen, dafs die Bewegungen jedes einzelnen Theiles vom Umkreise aus durch das Centrum nach dem gegenüberstehenden Theile des Umkreises fortgingen, was mir deswegen unmöglich scheint, weil bei den an die Knotenlinie a c b angrenzenden Theile, sobald diese einmal als ruhend angenommen wird, abweichende Spannungsverhältnisse vorhanden sind. Nach meiner Ansicht sind daher bei einem allseitig gleichmäfsig gespannten, in der Mitte durch einen Klöppel geschlagenen Pauken- und Trommelfelle blofs mit der Peripherie concentrische Knotenlinien möglich, deren Zahl zugleich nicht grofs seyn dürfte.

23) Neuerdings hat Marx[1] die bisher bekannten Schwingungen gespannter Membranen um eine Reihe neuer und interessanter vermehrt, die sich mit der *Aeoline*, einem von ihm so benannten akustischen Instrumente, hervorbringen lassen. Fig. 44. Dieser Apparat besteht aus einem etwa einzolligen Fufsbrete A B, in dessen Mitte sich eine verticale, drei Linien weite, messingne Röhre befindet, die durch das Bret gehend mit dem elastischen Rohre a b verbunden ist, dessen Oeffnung auf die Duse eines Blasebalgs gesteckt wird. Der Durchmesser der Röhre ist oben bis gegen 5 Lin. erweitert, am vortheilhaftesten soll es aber seyn, sie oben 7 Lin. weit zu machen und mit einem 1,5 Lin. breiten ebenen Rande zu versehn. Die Röhre geht sehr läufig durch einen flachen messingnen Ring, welcher in drei an den Enden mit Stellschrauben *α*, *α*, *α* versehene Arme ausläuft, die mit dem Ringe eine dem Fufsbrete fast parallele Ebene bilden, indem die Stellschrauben dazu dienen, den auf den Armen ruhenden hohlen Cylinder D D mehr oder weniger zu heben. Letzterer kann 3 bis 10 Zoll weit, aus Glas, Blech, Holz oder selbst Pappe verfertigt seyn

1 Schweigger's Journ. LXV. 148. LXVI. 109. Die erste Idee zur Construction dieses Apparates hat W. Weber bei Gelegenheit der Prüfung von Savart's Versuchen angegeben, indem er gleichmäfsig dickes englisches Briefpapier über einen Rahmen spannte und dasselbe tönen hörte, wenn er blofs leise dagegen blies. Schweigg. Journ. L. 184.

Digitized by Google

und hat oben eine über ihn gespannte Membrane, deren Ebene mit der Oeffnung der Röhre zur Berührung gebracht oder etwas über dieselbe gehoben werden kann, je nachdem man den Cylinder vermittelst der Schrauben etwas mehr hebt oder herabläfst, wodurch man zugleich auch diese Oeffnung genau unter die Mitte bringen oder ein wenig davon entfernen kann. Die einzige Art von Membranen, die sich nach Marx zur Erzeugung von Tönen eignen, sind die aus Cautchouck oder Federharz, die man bereitet, indem man eine Flasche dieser Substanz, von dunkler Farbe, möglichst gleichmäfsiger Dicke und mit wenigen oder gar keinen Einschnitten zuerst in warmem Wasser erweicht, dann 8 bis 16 Stunden in Aether liegen läfst (wobei es gut ist, den Hals gegen den Einflufs des Aethers zu schützen, indem man ihn in Quecksilber tauchen läfst, welches sich unter dem Aether befindet) und zuletzt die Blase vermittelst einer Compressionspumpe zur Papieresdicke aufbläst. Die auf solche Weise bereitete und straff auf den Cylinder gebundene Blase wird der Mündung der genannten Röhre sehr nahe gebracht, indem man den Cylinder vermittelst der Stellschrauben mehr herabläfst, man kann aber auch die Duse des Blasebalges von oben herab gegen sie richten und in beiden Fällen kommen nach einander mehrere Töne, die um die Doppeloctave verschieden sind, nebst einigen zwischenliegenden zum Vorschein, zuweilen hört man auch zwei Töne zugleich. Die Töne hängen weniger von der Stärke des Luftstromes ab, als von der Stelle, wo dieser die Membrane trifft, weswegen sogleich der eine Ton in einen andern übergeht, sobald man die eine der Stellschrauben etwas dreht, wobei der Uebergang oft mit einem Schnarren verbunden ist. Die Töne sollen um so viel leichter erzeugt werden, je dünner und gleichmäfsiger die Membrane ist, und sollen denen der Clarinette gleichen[1].

---

1 Dafs auf die angegebene Weise die beschriebenen Töne zum Vorschein kommen, ist nicht wohl zu bezweifeln, denn Schnyder von Wartensee versichert (Schweigg. Journ. LXVI. 124.), dafs der physikalische Verein in Frankfurt sie bei der Wiederholung dieser Versuche sehr deutlich gehört habe. Da seitdem keine weitere Nachricht über diese Erweiterung der Akustik zu meiner Kenntnifs gekommen ist, so schien es mir nöthig, die Sache selbst genauer zu prüfen, allein das Resultat fiel nicht so befriedigend aus, dafs ich hoffen darf,

Digitized by Google

Wird während des Tönens feiner Sand auf die Membrane gestreut, so kommen allerdings Figuren zum Vorschein, indem der Sand anhaltend in die Höhe hüpft und auf diese Weise endlich auf den Schwingungsknoten liegen bleibt, wobei nach Marx keine fortschreitenden Wellen, wie bei den §. 17. beschriebenen longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe, beobachtet werden. Dagegen sollen sich einige gerade Linien als Chorden zeigen, auch verschiedene krumme Knotenlinien, deren Gestalt jedoch zu wenig regelmäfsig ist, als dafs sie genau beschrieben werden könnten, um so mehr, als

---

das neue Instrument werde den Beifall der Physiker erhalten. Ich liefs mir eine Aeoline durch Albert in Frankfurt verfertigen, welcher den vorliegenden Thatsachen gemäfs gewifs mit ihrer Construction vertraut ist, wonach die mitgetheilte Zeichnung nebst Beschreibung gemacht wurden; allein wie anhaltend auch mein Bemühen war, so konnte ich doch, aufser dem vom Erfinder erwähnten Schnarren, keinen Ton damit hervorbringen, selbst nachdem ich die Mündung des Rohres mit der später angegebenen Vorrichtung versehn hatte. Hierbei spannte ich die Haut von Federharz in den kleinsten Abstufungen zunehmend stets stärker, bis sie endlich nicht beim vorsichtigen Aufspannen, sondern während des ruhigen Stehens zerrifs. Dennoch bin ich überzeugt, dafs eine solche gut gerathene Membrane zum Tönen vorzüglich geeignet ist, weil sie die gleichmäfsigste Spannung aller ihrer einzelnen Theile gestattet, allein ihre Bereitung und Handhabung erfordert zu viele Vorsicht und Geschicklichkeit und der Erfolg ist dennoch zu unsicher, als dafs ein solcher Apparat sich für die gewöhnlichen, in den physikalischen Cabinetten zur Demonstration dienenden, eignen sollte; als musikalisches Instrument ist derselbe aber auf keine Weise geeignet. Später liefs ich mir aufser dem gläsernen hohlen Cylinder noch einen auf das Gestell passenden von Weifsblech und einen von Pappe verfertigen, überspannte die beiden erstern mit einer möglichst gleichmäfsigen Thierblase, den letztern mit feinem Briefpapier. Letzterer gab nie etwas anderes, als das vom Erfinder beobachtete Brummen, ein starkes schnarrendes Geräusch oder besser Getöse, der blecherne Cylinder dagegen war am geeignetsten, einen wirklichen, selbst angenehmen Ton zu erzeugen. In oft wiederholten Versuchen gelang es mir nämlich, mehrmals Töne zu erzeugen, die nach der durch die Witterung bedingten geringern oder stärkern Spannung der Blase höher oder tiefer waren. Entstand ein solcher heller, vernehmlicher und selbst wohlklingender Ton, so ging er durch geringe Verrückung von einer der Stellschrauben schnell in einen etwas höhern oder tiefern über, jede stärkere Drehung derselben machte den Ton verschwinden oder verwandelte ihn in das schnarrende Geräusch; nur äufserst selten ging er in einen bedeutend

Digitized by Google

der Sand auf den stets etwas rauh und klebrig bleibenden Membranen nicht leicht fortgleitet. Anfangs wollte es dem Erfinder dieser Phänomene nicht gelingen, vierkantige Membranen zum Tönen zu bringen, später aber vermochte er nicht blofs dieses, sondern sah auch, dafs der Sand sich auf ihnen zu regelmäfsigen Knotenlinien ordnete. Eine weitere Verfolgung dieser Versuche könnte vielleicht über die noch sehr wenig genau erforschten Schwingungsgesetze gespannter Membranen mehr Licht verbreiten und Grundlage theoretischer Untersuchungen werden, die uns bis jetzt noch gänzlich fehlen, in-

---

höhern oder tiefern über, jedoch entstanden im Allgemeinen Töne, die um eine Decime und selbst einmal um etwa die Doppeloctave verschieden waren. Aufgestreuetes Lycopodiumpulver wurde durch alle Bebungen der Membrane stets zu kleinen Häufchen §. 32. vereint, feiner Sand dagegen gerieth durch die schnarrenden Töne und tonlosen Bebungen blofs in hüpfende Bewegungen mit vorherrschender Neigung, nach dem Rande hin und selbst über diesen hinaus gestofsen zu werden; einige Male glückte es mir jedoch, ganz eigentliche, hinlänglich kenntliche und scharf begrenzte Figuren zu erzeugen, deren Gestalt mit sehr geringen Abweichungen auf die in der Zeichnung mitgetheilten zurückkamen. Die Beobachtung scheint mir wichtig, weil sie die eigentlichen Schwingungen gespannter Membranen deutlicher nachweist und denen der durch eigene Steifheit elastischen Scheiben anreiht. Solche kenntliche Figuren werden jedoch blofs durch hell und anhaltend klingende reine Töne erzeugt, gehören daher den mehr lärmenden Paukenfellen ohne Zweifel nicht an. Ihre Entstehung ist äufserst schwierig, denn sobald die eigenthümliche Elasticität der schwingenden Membrane durch das unbedeutende Gewicht des aufgestreueten Sandes nur um das Geringste geändert wird, hört der Ton sogleich auf und kommt zuweilen nach dem Wegblasen des Sandes nicht wieder zum Vorschein. Ungleich leichter konnte ich Töne und Figuren durch Einblasen der Luft mit dem Munde als vermittelst des Blasebalges erzeugen, auch schien mir die Membrane leichter zu tönen, wenn ich mitten in dieselbe ein feines Loch mit einer Nähnadel machte, was bei einer derselben zufällig geschehn war. Fig. 45. u. 46. u. 47.

Die schnarrenden Töne oder das schnarrende Geräusch entsteht sicher auf die nämliche Weise, als das erwähnte Pfeifen bei dem Versuche von Clement §. 4., die andern aber vermuthlich durch die Schwingungen, in welche die Membrane durch die aus der Röhre strömende und sich ausbreitende Luft versetzt wird, und diese würden sowohl wohlklingender, als auch leichter zu erzeugen seyn, wenn die vibrirende Membrane nicht gegen die Röhre stiefse, von welcher sie sich nicht weit entfernen darf, wenn ein Ton überhaupt entstehn soll.

Digitized by Google

dem das eigentliche Verhalten derselben durch die rücksichtlich des Calculs schätzbaren Abhandlungen von L. Euler[1] und Biot[2] über die Vibrationen gespannter rechtwinklig viereckiger Paukenfelle noch keineswegs genügend aufgeklärt worden ist, und es sogar noch fraglich bleibt, ob das Problem auf die von beiden versuchte Weise, wonach sie solche Membranen als eine Zusammensetzung rechtwinklig sich durchkreuzender Saiten betrachten, überhaupt gelöst werden kann. Weit wichtiger würde es seyn, einige von denjenigen Resultaten, zu denen Poisson in seiner mehrerwähnten Abhandlung gelangt ist, wie er selbst wünscht, durch die Erfahrung zu prüfen.

d) Elastische Scheiben.

24) Scheibenförmige, durch eigene Steifheit elastische Körper, mögen sie gerade oder gekrümmt seyn, lassen sich in regelmäfsige Schwingungen versetzen, wobei ganze Theile derselben, nicht einzelne Linien, sondern Flächen, vibriren, indem die zwischen diesen liegenden Theile von gröfserer oder geringerer Ausdehnung, sehr häufig blofs schmale Streifen, ruhen, die also nicht einzelne Schwingungsknoten, sondern gerade oder krumme, einander vielfach durchkreuzende Knotenlinien bilden. Die letzteren werden im Allgemeinen auf eine solche Weise erzeugt, dafs sie die ganze gegebene Fläche mit sichtbar vorwaltender Symmetrie in eine gewisse Menge aliquoter Theile theilen, deren Schwingungen in Richtungen erfolgen, die theils perpendiculär auf die Knotenlinien, theils ihnen parallel sind. Die vorhandene Symmetrie ist hauptsächlich daraus ersichtlich, dafs die schwingenden Theile der ganzen Fläche einander so weit ähnlich sind, als die Gestalt der letztern erlaubt, woraus dann zugleich eine Aehnlichkeit der Knotenlinien folgt, und dafs die Durchmesser der zwischen zwei Knotenlinien liegenden schwingenden Flächen etwas über die doppelte Länge derjenigen betragen, die von den Knotenlinien bis an den Rand der Scheiben gehn. Man ersieht hieraus, dafs diese Erscheinungen im Ganzen auf dasjenige zurückkommen, was oben §. 20. über die Transversalschwin-

1 Nov. Comm. Petrop. T. X. p. 243.
2 Mém. de l'Instit. Sciences phys. et math. T. IV. p. 21.

Digitized by Google

gungen elastischer Stäbe und die Lage ihrer Schwingungsknoten, insbesondere, wenn diese bei eintretender Krümmung sich einander nähern, gesagt worden ist. Chladni ist ohne Widerrede der erste, welcher diese Erscheinungen aufgefunden und die dabei zum Grunde liegenden Gesetze untersucht hat[1], denn obgleich Biot[2] und einige andere den Galilei als Erfinder nennen, so ersieht man doch bei genauer Prüfung bald, dafs in der hierher gehörigen Stelle[3] blofs von der hüpfenden Bewegung des Sandes auf metallenen Scheiben, die man durch Anschlagen zum Tönen bringt, die Rede ist.

Obgleich durch eigene Steifheit elastische scheibenförmige Körper nicht gerade durch ebene Flächen begrenzt seyn müssen, sondern auch gebogen, selbst bis zur Gestalt der Glocken gekrümmt seyn können und in allen diesen Gestalten auf ähnliche Weise schwingen, so betrachten wir doch hier vorläufig die geraden Scheiben, bei denen sich die Lage und Gestalt der Knotenlinien und der schwingenden Flächen, die durch transversale Schwingungen erzeugt werden, am besten nachweisen lassen. Die Scheiben können drei-, vier- und vieleckig, von geraden oder krummen oder auch beiden Arten von Linien begrenzt, regelmäfsig oder unregelmäfsig gestaltet, dicker oder dünner und von willkürlichen Substanzen seyn, jedoch ist ein gewisser Grad der Elasticität nothwendige Bedingung, weswegen pappene Scheiben sich nicht eignen, wenn sie nicht ungewöhnlich hart geleimt sind, hölzerne dagegen geben sehr kenntliche Figuren, metallene, hauptsächlich von harten Metallen, noch bessere, am passendsten aber sind gläserne. Letztere können zwar dick seyn, allein dann erhält man die Figuren minder leicht und nicht so scharf, auch findet Chladni das Spiegelglas nicht vorzüglicher, als gemeines Fensterglas, da die Flächen des erstern keineswegs stets genau parallel sind. Zur Anstellung dieser höchst interessanten Versuche, die sogar die Aufmerksamkeit Napoleon's so sehr reizten, dafs er sich dieselben durch den bis zur unglaublichen Fertigkeit hierin geübten Chladni zeigen liefs, wählt man am besten dünne Scheiben von gemeinem Fensterglase, die so viel

1 Entdeckungen über die Theorie des Klanges. Leipz. 1787. 4.
2 Traité de Phys. T. II. p. 93.
3 In seinen Dialogen über Mechanik. Opp. di Galileo-Galilei. Pad. 1761. T. III. p. 50.

Digitized by Google

als möglich gleichmäfsig dick sind, schleift die nach dem Schneiden scharfen Karten auf einem Sandsteine rundlich und bedient sich zum Streichen eines gewöhnlichen Geigenbogens mit ungefähr halb so vielen Haaren, als die guten Bogen zu haben pflegen, und welcher vorher etwas stark auf Colophonium gestrichen ist. Die Scheiben werden zwischen dem Daumen und Mittelfinger mäfsig fest entweder ganz kunstlos oder besser so gehalten, dafs nur eine kleine Stelle durch die weichen Fingerspitzen berührt wird, ohne dafs eine sonstige Stelle irgendwo anliegt, aufser wo man absichtlich noch einen oder mehrere andere Schwingungsknoten zu erzeugen wünscht. Grofse Scheiben (Chladni wandte sie bis zum Durchmesser einer Dresdner Elle an) geben leichter zusammengesetzte Figuren, als kleine, und wenn man jene nicht mit den Fingern halten kann, so klemmt man sie in einem Gestelle fest, welches von Metall, füglich auch von Holz verfertigt vermittelst der Schraube a an einem Tische angeschraubt wird und die Scheibe zwischen dem Ende der Schraube a und der unter ihr befindlichen Stütze fafst, die beide nicht zu dick und mit einem weichen Ueberzuge von Kork, Leder oder Federharz versehn seyn müssen, wobei sich von selbst versteht, dafs in den Berührungspuncten der Scheibe Schwingungsknoten entstehn, also auf jeden Fall da, wo die Scheiben gehalten werden, und zugleich an allen den Stellen, wo man noch aufserdem dieselben mit der Fingerspitze oder einer sonstigen weichen Substanz berührt. Chladni[1] empfiehlt indefs diese Vorrichtung nicht, sondern zieht es vor, die kleinern Scheiben mit den Fingern festzuhalten, die gröfsern in den Schwingungsknoten auf nicht breite, weiche Unterlagen, z. B. Stücke von elastischem Gummi (Kork), zu legen und oberhalb mit dem Finger zu drücken. Beim Streichen mufs der Bogen bei horizontaler Lage der Scheibe lothrecht gehalten werden und zugleich darf er nicht von der gestrichenen Stelle seitwärts gleiten; für tiefe Töne sind langsame Striche mit geringem Drucke, für hohe die entgegengesetzten am geeignetsten, allgemein aber erfordert das Erzeugen bestimmter Figuren einige Uebung, und man darf sicher annehmen, dafs bei einem deutlich vernehmbaren Tone auch jederzeit eine kenntliche Figur

Fig. 48.

1 Neue Beiträge zur Akustik. S. 40.

Digitized by Google

zum Vorschein kommt, die um so viel zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist, fehlt aber der eine, so bleibt auch die andere aus. Die Scheiben müssen vorher trocken abgerieben seyn, damit sie nicht klebrig sind, zum Aufstreuen eignet sich aber am besten sehr feiner Quarzsand, den man vorher in Wasser schüttet und das schmuzige Wasser so lange abgiefst und mit frischem erneuert, bis es klar bleibt, wodurch der Sand vom beigemischten Staube gereinigt wird. Uebergiefst man nach WHEATSTONE[1] die Glasscheibe mit einer dünnen Schicht Wasser und streicht am Rande, so bilden sich sehr sichtbare gröfsere oder kleinere, in verschiedenen Richtungen sich durchkreuzende Wellen, die ein interessantes Schauspiel darbieten, zur Erkennung der Schwingungsknoten aber weit weniger taugen, als die Sandfiguren.

25) Es ist bereits erwähnt worden, dafs die Gestalt der Scheiben auf die erzeugten Figuren einen bedeutenden Einflufs ausübt, wie auch aus der Natur der Sache von selbst folgt, da die schwingenden Theile der Scheiben sich im Allgemeinen symmetrisch bilden und eine gegenseitig verhältnifsmäfsige Gröfse haben. Die Menge der möglichen Schallfiguren mufs daher in Folge der verschiedenen Gestalten der Scheiben sehr grofs seyn, allein es scheint fast unglaublich, dafs CHLADNI[2] die Zeichnungen von 90 solchen mitgetheilt hat, die blofs auf einer quadratförmigen Scheibe gebildet wurden, und dennoch sind auch hierin noch nicht alle mögliche Combinationen enthalten, denn einst zeigte mir ein Dilettant, der sich zum Vergnügen mit diesem Gegenstande beschäftigte, eine Figur, die unter den genannten nicht enthalten ist, auch hat SAVART[3] Zeichnungen von 76 verschiedenen, blofs auf quadratischen Scheiben erzeugten, Figuren mitgetheilt, die man in dieser Art nicht sämmtlich in dem Werke von CHLADNI findet, und er glaubte aufserdem, dafs man noch mehrere andere auffinden könne und dafs es keine bestimmten Tonreihen gebe, die sich mit den nämlichen Scheiben hervorbringen lassen, sondern dafs blofs der eigenthümliche Charakter der Arten, wie die Scheiben abgetheilt werden, unverändert bleibt. Es würde daher den

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 313.
2 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4.
3 Ann. Ch. Phys. XXXII. 384.

Digitized by Google

erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn ich die sämmtlichen bereits bekannten Figuren hier wiedergeben wollte, und ich begnüge mich daher, von den mit verschieden gestalteten Scheiben erhaltenen einige wenige mitzutheilen, welche vorzüglich geeignet sind, nachgemacht zu werden und den wichtigsten theoretischen Gesetzen zur Erläuterung zu dienen. Obgleich übrigens die Scheiben, ebenso wie die Stäbe, sowohl an einer Seite als auch an beiden befestigt oder angestemmt werden können und auch dann Figuren, wenn gleich minder scharfe, geben, so wird doch hier blofs von freien die Rede seyn, indem dieses die einfachsten Fälle in sich begreift. Im Allgemeinen mufs man die zu erzeugende Figur entweder kennen oder sich dieselbe mindestens ungefähr vorstellen und ihre Gestalt wird dann, unter Voraussetzung einer symmetrischen Theilung der ganzen schwingenden Fläche durch die entstehenden Knotenlinien, hauptsächlich durch den Ort desjenigen Punctes bestimmt, in welchem man die Scheibe festhält, und derjenigen Puncte, wo man dieselbe gleichzeitig berührt, dann durch die Stelle, wo man dieselbe streicht, und endlich durch die verschiedene Schnelligkeit und Stärke des Bogenstriches. Will man die Figuren insgesammt rücksichtlich der erzeugten Töne und ihrer gegenseitigen Verhältnisse systematisch ordnen, so mufs man nach der Art, wie Chladni gethan hat, die Zahl der nach der einen Richtung laufenden und der sie durchkreuzenden Linien nebeneinander stellen, worüber später noch etwas gesagt werden soll, nachdem zuvor erst die Entstehungsart einiger einfachen Figuren auf quadratischen Scheiben angegeben worden ist.

26) Unter der Voraussetzung, dafs die quadratische Scheibe in hinlänglichem Grade gleichmäfsig dick sey, mithin die symmetrisch liegenden Theile gleichzeitig vibriren können, mufs ein Kreuz en, hc entstehn, wenn man dieselbe in der Mitte hält und nahe bei einer der vier Ecken streicht. In der Mitte nämlich ist die Bildung eines Knotenpunctes durch das Halten der Scheibe nothwendig bedingt; wird dann die eine Ecke durch das Streichen zum Vibriren gebracht, so geht hierbei ein beliebiges Theilchen herabwärts und das diametral gegenüberstehende aufwärts, so dafs vermittelst der Uebertragung dieser Wirkung auf die ganze Scheibe nothwendig die gezeichnete Figur entstehn mufs. Zuweilen nimmt sie jedoch

Fig. 49.

Digitized by Google

auch eine solche Gestalt an, dafs zwei Curven e d h und c m n sich in der Mitte begegnen. Hält man die Scheibe an der nämlichen Stelle, streicht dagegen in der Mitte einer ihrer Seiten, so kann dahin kein Schwingungsknoten fallen, vielmehr wird sich die Knotenlinie aus der Mitte der Scheibe nach den Ecken hinziehn und man erhält ein liegendes Kreuz, welches zuweilen aus zwei sich berührenden Curven c n d und e m k besteht, auch kann man das erstere Kreuz in das letztere übergehn sehn, wenn man anfangs an der Ecke und dann allmälig bis zur Mitte der Scheibe den Bogen fortführend streicht. Beide Figuren gehören den tiefsten Tönen zu, deren die Scheibe fähig ist, weil die längsten Theile derselben in Schwingungen versetzt werden; auch lassen sich beide in eine einzige vereinigen, wenn man die Scheibe in der Mitte hält und am Rande zwischen der Mitte und der Ecke streicht. Fafst man die Scheibe in der Mitte der einen Seite nahe am Rande und streicht an der nächsten Ecke, so erscheint aus ähnlichen Ursachen ein dem Kreise sich näherndes Viereck mit abgestumpften Ecken, und es zeigt sich hierin der Uebergang von den geraden Linien zu den krummen. Fafst man die Scheibe in etwas weniger als dem vierten Theile ihres Durchmessers, da wo die beiden Linien einander durchkreuzen, und streicht in der Mitte, so theilt sie sich nach der einen Richtung in zwei gleiche Hälften, nach der andern in drei ungleiche Theile, deren mittlerer etwas mehr als die doppelte Gröfse der beiden äufsern hat, weil bei der Bildung der beiden parallelen Knotenlinien die äufsern und innern Theile als in diesen Linien befestigt und so schwingend zu betrachten sind, weswegen jene nur die Hälfte der Länge von diesen haben können. Rückt man den Punct des Haltens etwas seitwärts und streicht man in der Mitte der Scheibe oder an der linken Ecke, so verwandelt sich die Figur in drei die Tafel schräg durchschneidende krumme Linien; jedoch wird diese minder leicht als die vorige erzeugt. Beide Figuren werden doppelt, nämlich die erste, wenn man die Scheibe an der Stelle hält, wo ein Paar der beiden Linien einander durchkreuzen, und in der Mitte einer der Seiten streicht, und die zweite, wenn man den Punct des Haltens etwas ändert und an der nächsten Ecke streicht. Auf gleiche Weise läfst sich leicht zeigen, wie die geradlinigen Figuren in die krummlinigen übergehn, ohne dafs die

Fig. 50.

Fig. 51.

Fig. 52.

Fig. 53.

Fig. 54. u. 55.

Digitized by Google

Tonhöhen eine Aenderung erleiden. Man hält nämlich die Scheibe in dem mit m bezeichneten Puncte und streicht an der Stelle n, beide in der Mitte der Scheibe liegend, wonach also die Theile der Scheibe nach einer Richtung hin genau so schwingen, als vibrirende Stäbe; rückt man beide Stellen etwas seitwärts, so werden die Linien krumm, und nach einer nochmaligen unmerklichen Verrückung fallen sie zusammen. Soll aufser diesen noch eine Knotenlinie in der Mitte entstehn, so mufs die Scheibe im Durchkreuzungspuncte m gefafst und in der Mitte bei n gestrichen werden, wobei die Abstände der Knotenlinien vom Rande sich aus dem früher Gesagten von selbst ergeben. Durch einige Verrückung der genannten Puncte oder noch leichter durch ein gelindes Anstemmen der einen Ecke verändert sich die Figur und geht allmälig in die beiden folgenden über. Eine andere verwandte Gruppe von Figuren erfordert um so mehr gleichmäfsige Scheiben, je mehr sie in einem höhern Grade zusammengesetzt ist. Sie theilt die Tafel nach einer Richtung in fünf, nach der andern in vier Theile durch parallele Linien und wird erhalten, wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte zweier äufsersten Linien fafst und an der Seite zunächst diesem Puncte in der Mitte zwischen zwei parallelen Linien streicht. Die Figur geht in die folgende über, wenn man die eine Ecke, von welcher die diagonale Linie ausläuft, gegen einen Gegenstand stemmt; durch leichte Aenderungen erhält man alle sechs krumme Linien nach gleicher Richtung laufend.

Fig. 56. bis 58.

Fig. 59. bis 61.

Fig. 62. bis 64.

Es folgt aus dem bisher Gesagten leicht, auf welche Weise man die Zahl der Linien bis zu 4 und 4 wechselseitig einander parallelen bringen kann, jedoch erfordert es schon einige Uebung, wenn man darauf rechnen will, sie mit einiger Sicherheit zu erhalten, insbesondere weil der Punct der Durchkreuzung, wo die Scheibe gehalten werden mufs, und die Stelle, wo sie gestrichen wird, auf einen genau bestimmten kleinen Raum beschränkt sind, indem die geraden Linien leicht in gekrümmte übergehn. Noch schwieriger ist die Verbindung mehrerer geraden Linien mit krummen, z. B. vier der ersten mit ebensovielen der letzten, wobei die Krümmungen gegen die geraden gerichtet sind, oder wo die gekrümmten die von den geraden gebildeten Felder einnehmen, desgleichen sechs einander entgegengesetzt gekrümmte, die von 3 geraden recht-

Fig. 65.

Fig. 66. bis 68.

Digitized by Google

winklig geschnitten werden. Eine interessante Figur, die entweder einfacher oder zusammengesetzter zum Vorschein kommt, wird leicht erhalten, wenn man eine etwas gröfsere Scheibe in der Mitte auf eine weiche Unterlage legt und mit einem aufgesetzten Finger festhält, dann gleichzeitig eine von den Stellen am Rande, von wo eine der krummen Linien ausläuft, mit dem Daumen berührt und an der Ecke streicht. Von den vielen durch Chladni dargestellten Figuren, die sich auf gleiche Weise durch die Menge als durch die symmetrische Anordnung der geraden und krummen Linien auf eine wunderbare Weise auszeichnen, theile ich der Merkwürdigkeit wegen nur zwei mit, die eine für gerade, blofs an ihren Enden etwas gebogene, die andere für krumme Linien. Bei allen diesen ist es räthlich und meistens sogar nothwendig, auf der Stelle, wo die Scheibe gehalten wird, auch noch eine andere, wohin ein Knotenpunct fällt, gelinde zu berühren; auch mufs die Scheibe, mindestens für die letzte und einige ihr ähnliche Figuren, hinlänglich grofs seyn. Fig. 69. u. 70. Fig. 71. u. 72.

Ein gewisses Verhältnifs der Tonhöhen und der Figuren folgt insofern unmittelbar aus der Natur der Sache, als eine gröfsere Menge von Knotenlinien die tönende Scheibe in kleinere Theile theilt, die somit den kürzern Stäben analog auch schneller schwingen müssen, folglich auch höhere Töne erzeugen. Mit absoluter Genauigkeit ist zwar ein solches Verhältnifs noch nicht aufgefunden worden, welches die zusammengehörigen Figuren und Tonhöhen in gröfster Schärfe auszudrücken vermöchte, und die Ursache dieser Ungewifsheit liegt ohne Zweifel in den Hindernissen, welche die physische Beschaffenheit der Scheibe, die Ausdehnung des Berührungspunctes und die Breite der gestrichenen Stelle einer scharfen geometrischen Construction entgegensetzen, allein Chladni hat dennoch aus seinen zahlreichen Versuchen ein im Allgemeinen passendes Gesetz aufgefunden. Um dieses übersichtlicher darzustellen, bezeichnet er die nach der einen und nach der andern Richtung fortlaufenden Knotenlinien ihrer Zahl nach durch die fortlaufenden Ziffern 1, 2, 3.... und zeichnet in die hierdurch gebildeten Fächer die relativen Schwingungsmengen nebst denjenigen Tönen, die hierdurch hervorgebracht werden. Der einfachste Ton, der hiernach erzeugt werden kann, da 1 und 0 keinen giebt (oder kein Ton dadurch er-

Digitized by Google

zeugt wird, dafs eine einzige Knotenlinie die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt), ist der durch 1 und 1 bezeichnete, welcher dann entsteht, wenn zwei Knotenlinien einander durchkreuzen. Von diesem ausgehend hat Chladni die Töne bis zu 8 und 8 verfolgt. Hierbei nennt er den zu 1 und 1 gehörigen G, weil seine Schwingungen ihm das Product von 2 und 3 zu enthalten scheinen und hiernach dann die übrigen Töne besser in die gewöhnliche Tonleiter passen. In der hierdurch gebildeten Tafel sind die Töne und deren Bezeichnungen an sich klar, ebenso wie die Zahlen, welche die verhältnifsmäfsigen Schwingungsmengen angeben, und es verdient daher blofs noch bemerkt zu werden, dafs die in Parenthesen eingeschlossenen Zahlen die vorher beschriebenen Figuren bezeichnen, die den erzeugten Tönen zugehören.

Digitized by Google

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen einer Quadratscheibe nach Beobachtungen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	—	G. 6							
2	d — .9 e . 10	h. 15	a. 27 b. 28						
3	gis 25	h. 30 c. 32	fis 45	c. 64					
4	gis 49	b. 55	cis 70 d. 72	fis 90	b. 111				
5	e. 81	f. 84 fis 91	gis 99	h. 120 c. 128	dis 152	fis 180			
6	h. 120 c. 125	c. 128	cis 140 d. 144	e. 161	g. 190 gis 198	b. 228	c. 260		
7	f. 169	fis 178	fis 180	gis 210 a. 218	h. 240	cis 278 d. 288	e. 324	fis 262	
8	224 b. 230		h. 242 c. 250	c. 260	d. 288 dis 298	f. 338	g. 384 gis 392	a. 434	h. 480

Chladni sucht hierbei noch ferner im Einzelnen zu zeigen, in welchem Verhältnisse die Tonhöhen und Mengen der Knotenlinien zu einander stehn, indem namentlich bei den Linien nach einer Richtung, also 2 und 0, 3 und 0 u. s. w., die Schwingungszahlen nach den Quadraten der ungeraden Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w. zunehmen. Inzwischen läfst sich ein

Digitized by Google

solches Gesetz nicht in voller Allgemeinheit nachweisen, und es scheint mir daher angemessener, hier nicht ausführlicher darüber zu handeln[1].

27) Nicht quadratische rechtwinklige Scheiben unterscheiden sich von den quadratischen dadurch, dafs die Durchmesser nach der einen Richtung kleiner sind als nach der andern, bei der übrigens statt findenden Aehnlichkeit müssen daher auch die auf ihnen erzeugten Figuren einander ähnlich seyn, jedoch mit vorherrschender Neigung, die Anzahl der auf der schmaleren Seite erscheinenden Knotenlinien zu vermindern. Um den Einfluſs der wachsenden Ungleichheit beider Seitenlängen genauer zu erforschen, schnitt Chladni von einer bereits durch die angebenen Versuche geprüften quadratischen Scheibe einen aliquoten Theil so ab, dafs der eine Durchmesser unverändert blieb, der andere aber zunehmend kürzer wurde, und es fand sich, dafs dann zwischen den durch gleiche Mengen der Knotenlinien auf beiden erzeugten Tönen das nämliche Verhältnifs obwaltete. Zur allgemeinen Uebersicht wird es genügen, hier blofs von einigen auf diese Weise veränderten Scheiben die gleichfalls verschiedenen Grundtöne und von zweien als Probe auch die übrigen Töne anzugeben. Wurde von der einen Seite der neunte Theil weggenommen, so dafs die Breiten sich wie 9 zu 8 verhielten, so verwandelte sich der tiefste Ton oder der Grundton aus G in A, und die übrigen Töne behielten gleichfalls das Verhältnifs der Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. bei, waren jedoch etwas zu hoch; die entstandenen Figuren waren aber den vorrigen ähnlich. Wurde die Scheibe so verändert, dafs sich die Durchmesser wie 6 zu 5 verhielten, so verwandelte sich der Grundton in B, die einfachern Verhältnisse der Töne für die durch 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. bezeichneten Figuren blieben gleichfalls den Quadraten von 3, 5, 7 u. s. w.

1 Eine ausführliche Abhandlung über die auf quadratischen Scheiben entstehenden Figuren, wenn man annimmt, dafs die zusammengesetzteren aus den einfachen durch Uebereinanderlegung derselben entstehn, hat neuerdings C. Wheatstone in Phil. Trans. 1833. P. II. p. 593. geliefert. Insbesondere sind die schönen Figuren ausgezeichnet, wodurch versinnlicht wird, welche nach der Theorie entstehn müfsten, und wie sie sich durch Verzerrung in der Wirklichkeit zeigen.

Digitized by Google

proportional, waren aber im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser höher. Inwiefern die entstehenden Töne von den gebildeten Figuren und den in ihnen befindlichen Knotenlinien abhängen, mithin ungleiche Figuren hiernach gleiche Töne geben, zugleich aber durch die Form der Scheiben eine Abänderung erleiden, zeigt der bloſse Anblick der Zeichnungen, wovon die erste und dritte Figur auch auf quadratischen Scheiben zum Vorschein kommen, die zweite und vierte sich aber unter den durch CHLADNI mitgetheilten quadratischen nicht finden. Fig. 73. bis 76.

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 6:5

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	a +	a	f
1		B	d	cis +	hi —	g —
2	a +	e	cis +	a	e	b
3	dis +	fis	h —	e	b	
4	dis	e	g	b +		

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 5:4.

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	a +	a	f +
1		H	dis —	d +	h +	g +
2	h +	f +	dis —	b —	f	h
3	f +	g +	c +	f +	b +	dis
4	f	f +	gis —	c +	dis +	gis

Digitized by Google

Fig. 77. bis 79. Inwiefern die Figuren, in denen die Verhältnisse der Knotenlinien 5 und 0, 4 und 1 vorkommen, in einander übergehn und die Gestalt der Scheiben auf ihre Bildung einen Einfluſs ausübt, ergiebt sich aus dem bloſsen Anblicke der drei gezeichneten, die insgesammt den nämlichen Ton geben. Ebendieses ergab sich auch bei Scheiben, deren Durchmesser sich wie 3:2 verhielten, indem die das Verhältniſs der Knotenlinien 4 und 1, desgleichen 0 und 3 darstellenden in einander übergingen, die auch in einer andern Form zum Vorschein kommen, wobei die Beugungen den hier gezeichneten entgegengesetzt gerichtet sind. Verschiedene anderweitige Gesetze, welche Chladni noch für sonstige Verhältnisse der Durchmesser aufgefunden hat, übergehe ich hier, obwohl sie für das Ganze der Klanglehre nicht ohne Interesse sind. Wichtig dagegen sind die Resultate, welche derselbe über diese Schwingungsarten im Allgemeinen aufgefunden hat.

Fig. 80. bis 82.

a) Die Schwingungen rectangulärer Scheiben, die durch Knotenlinien bloſs nach einer Richtung erzeugt werden, die also nach der gewählten Bezeichnungsart zu 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. gehören, behalten nicht bloſs das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w., sondern auch die absolute Menge der Schwingungen (als Ursache der entstehenden Töne) bei, die für schwingende Stäbe aufgefunden worden ist, woraus also hervorgeht, daſs sie nicht durch die Breite, sondern bloſs durch die Länge des schwingenden Rectangels bedingt werden.

b) Wenn bei einer solchen rectangulären Scheibe die Knotenlinien bloſs nach der Länge hin liegen, soweit die verminderte Breite dieses gestattet, worauf also nach der gewählten Bezeichnungsart die Ausdrücke 0 und 2, 0 und 3, 0 und 4 u. s. w. passen würden, so behalten die Schwingungen unter sich das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w. bei, sind aber im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser höher. Dieses ist der Theorie insofern gemäſs, als die Töne dann unter dieser Bedingung ebenso von der Menge der nach der Länge hin sich erstreckenden Knotenlinien abhängen, als vorher von denen, die sich nach der Breite hin erstrecken.

c) Wenn eine nach einer Richtung gehende Knotenlinie von solchen durchschnitten wird, die nach einer andern gehn,

Digitized by Google

wofür also die Bezeichnung 1 und 1, 1 und 2, 1 und 3 u. s. w. gilt, so kommen die Töne, die bei einer Quadratscheibe im Verhältnifs 6, 15, 30 u. s. w. zu einander stehn (die aus der §. 26. mitgetheilten Tabelle ersichtlich sind), dem Verhältnisse 1, 2, 3 u. s. w. stets näher und gehn bei einem Verhältnisse der Durchmesser von 8:1 wirklich dahin über.

Chladni fügt endlich noch die sinnreiche Bemerkung hinzu, dafs die Schwingungen einer sehr schmalen Rectangulärscheibe, bei welcher eine nach der Länge gehende Knotenlinie durch mehrere nach der Breite laufende geschnitten wird, genau mit den §. 19. erwähnten drehenden zusammenfallen. Allerdings geht aus den bisherigen Untersuchungen hervor, dafs, wenn bei einer rectangulären Scheibe c d die nach der Länge und a b die nach der Breite laufende Knotenlinie bezeichnet, bei den Schwingungen derselben der Theil a d aufwärts, b d dagegen niederwärts geht und so in den beiden andern Theilen nach Angabe der Zeichen. Denkt man sich dann diese Scheibe in einen quadratischen oder demnächst auch runden Stab übergehend und diesen in drehende Schwingungen versetzt, so läfst sich allerdings vorstellen, dafs beide einander gleich wären. Inzwischen sind die drehenden Schwingungen zu wenig bekannt, als dafs sich mit Sicherheit solche in die Quere laufende Knotenlinien, als a b bei rectangulären Scheiben, auch bei ihnen annehmen liefsen, und bei runden Stäben wird es ohnehin schwer, die hier angegebene Vorstellung festzuhalten. Hierzu kommt noch das merkwürdige Verhältnifs, dafs bei einer quadratischen Scheibe der Ton, welcher zu 1 und 1 (nach der §. 26. mitgetheilten Tabelle) gehört, genau um eine Quinte tiefer ist, als der zu 2 und 0 gehörige, und wollte man demnach diesen letztern als den einfachsten durch longitudinale, und jenen ersten als den einfachsten durch drehende Schwingungen erzeugten betrachten, so ginge hieraus eine noch gröfsere Uebereinstimmung hervor, da auch die Töne durch drehende Schwingungen bei einem runden Stabe eine Quinte tiefer sind als die longitudinalen, beide bei einem freischwebenden, also in der Mitte mit einem einzigen Schwingungsknoten versehenen Stabe genommen. Der Anblick der Figuren 63 und letzte ist allerdings dieser Vorstellung günstig, indefs verdient dabei wohl erwogen zu werden, was §. 19. in Beziehung auf Poisson's theo-

Fig. 83.

Digitized by Google

retische Untersuchungen rücksichtlich dieser Tonverhältnisse gesagt worden ist.

28) Bei dem Einflusse, welchen die Gestalt der Scheiben auf die zu erzeugenden Figuren nothwendig haben mufs, würden die Untersuchungen kein Ende nehmen, wenn man alle diejenigen, die auf den verschiedenst gestalteten Scheiben entstehn könnten, und die bei ihrer Bildung zum Grunde liegenden Gesetze ins Einzelne verfolgen wollte, weswegen auch selbst Chladni sich dieser am Ende nicht genugsam belohnenden Mühe überhoben hat. Sind die Scheiben regelmäfsig gestaltet, so zeigen sich die entstehenden Figuren gleichfalls symmetrisch; fehlt aber jene Regelmäfsigkeit, so fällt auch die Symmetrie weg, wobei jedoch der Umstand bemerkt zu werden verdient, dafs bei Scheiben, von denen ein Stück abgebrochen ist, zuweilen blofs derjenige Theil der Figur nicht erscheint, welcher dem fehlenden Theile der Scheibe zugehört, obgleich in andern Fällen die Figur auch im Ganzen ihre Gestalt verändert. Bei manchen unregelmäfsig gestalteten Scheiben kann es einiges Interesse haben, thatsächlich nachzuweisen, dafs sich auf ihnen nicht blofs Figuren erzeugen lassen, sondern dafs diese auch mit den Formen der Scheiben correspondiren. Unter den regelmäfsig gestalteten hat Chladni namentlich die *gleichseitig dreieckigen* näher untersucht, und mögen daher auch hier einige der interessantesten von ihm aufgefundenen Figuren erwähnt werden. Den tiefsten Ton erhält man, wenn drei Knotenlinien die Ecken der Scheibe so abschneiden, dafs jede Seite in drei gleiche Theile getheilt wird. Sie geht leicht in eine ihr verwandte über, wenn an einer Seite die beiden Linien zusammenfallen. Nennt man den auf diese Weise erhaltenen Ton eingestrichen c, so erhält man einen andern, welcher etwas höher als cis ist, wenn die zuletzt erhaltenen zwei Linien nach dem Innern zu gekrümmt werden. Eine interessante und leicht zu erhaltende Figur ist die, wobei die Knotenlinien von jeder Ecke aus nach der Mitte der gegenüberliegenden Seite laufen, deren jede also die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt. Sie wird erhalten, wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte der drei Linien festhält und im vierten Theile der Seite streicht, der erzeugte Ton ist ungefähr f. Die erste der genannten Figuren und die letzte werden in einer einzigen vereint und geben dann dreigestrichen b. Ebendiese Figur zeigt sich auch in

Fig. 84.

Fig. 85.

Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.

Digitized by Google

andern ähnlichen Gestalten, die dem nämlichen Tone zugehören. Endlich möge noch diejenige Figur erwähnt werden, welche die meisten Linien enthält, den verhältnifsmäfsig höchsten Ton, nämlich viergestrichen g, giebt und aufserdem durch Zusammensetzung von 4 Scheiben, auf deren jeder die Figur 87 vorhanden ist, gebildet werden kann, und um auch von den krummlinigen einige namhaft zu machen, wähle ich die beiden, die rücksichtlich des Tones gerade um eine Octave verschieden sind, indem die erste dreigestrichen, die zweite aber viergestrichen *dis* giebt. Fig. 89. Fig. 90. u. 91.

29) Die *gleichseitig sechseckigen* Scheiben gleichen rücksichtlich der auf ihnen zu erzeugenden Figuren sehr den runden, und Chladni hat sie daher auf gleiche Weise dadurch bezeichnet, dafs er die gerade durchgehenden Linien von den gekrümmten unterscheidet. Die Art ihrer Erzeugung bezeichnet er blofs im Allgemeinen durch die Wiederholung der Regel, dafs man die Scheibe an der Stelle halten müsse, wo sich die meisten Knotenlinien schneiden, oder wo ein solcher Punct nicht vorhanden ist, in einer der Linien selbst, wobei es oft nöthig ist, noch eine andere Stelle der Knotenlinie oder einen Punct der Durchkreuzung mehrerer mit einem Finger zu berühren; das Streichen aber geschieht an einer dem Haltungspuncte nahe liegenden schwingenden Stelle, insbesondere da, wo die Knotenlinie eine Einbiegung hat. Den tiefsten Ton giebt diejenige Figur, wobei die Scheibe vermuthlich genau so, wie eine quadratische, schwingt. Zur Vergleichung mit den übrigen nennt Chladni diesen Ton ungestrichen c, wollte man aber die theoretischen Untersuchungen durch die Erfahrung prüfen, so würde es nicht überflüssig seyn, eine quadratische Scheibe durch Wegnahme der Ecken in eine sechseckige zu verwandeln und die Töne beider, die dieser nämlichen Figur zugehören, mit einander zu vergleichen. Die Zahl der vom Mittelpuncte aus sich durchkreuzenden Linien kann vielfach vermehrt werden, indefs finde ich ihre Zahl nicht gröfser als sechs ganze, die also einen Stern von 12 Spitzen bilden, der am Ende noch durch ein Sechseck oder einen Kreis umgeben seyn kann; die erstere giebt dreigestrichen d, die letztere viergestrichen g, und diese ist wohl die am meisten zusammengesetzte unter allen, wenn sie hierin nicht von derjenigen übertroffen wird, welche die meisten krummen Fig. 92. Fig. 93. u. 94. Fig. 95.

Digitized by Google

Linien enthält, aber den nämlichen Ton giebt. Chladni theilt im Ganzen 30 auf solchen gleichseitig sechseckigen Scheiben erzeugte Figuren mit, wovon ich jedoch mich begnüge, nur noch die einfachste krummlinige zu erwähnen, welche den Ton b giebt und mehrfach verändert werden kann, insofern der Kreis die elliptische Gestalt annimmt und durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien geschnitten wird. Sonstige vieleckige Scheiben hat Chladni theils nicht untersucht, theils die Resultate seiner Erfahrungen nicht mitgetheilt, und man wird daher auch hier keine weitere Fortsetzung dieser mühsamen und schwierigen Untersuchungen erwarten.

Fig. 96.

30) Das meiste Interesse, aufser den rectangulären, gewähren die runden Scheiben wegen der Mannigfaltigkeit und Schönheit der auf ihnen erscheinenden Figuren. Um bei ihrer Vergleichung mit der Höhe der erzeugten Töne von einer festern Grundlage auszugehn, unterscheidet Chladni die durchgehenden Linien von den concentrischen kreisförmigen und bezeichnet die Zahl der erstern mit arabischen, der letztern mit römischen Ziffern; es wird indefs hier genügen, blofs einige der interessantesten aufzunehmen. Am leichtesten erhält man die ganz durchgehenden in der Mitte sich durchkreuzenden Linien, deren Zahl von zwei bis fünf ganzen zunimmt, die also vier- bis zehnspitzige Sterne bilden. Man erzeugt sie insgesammt, indem man die Scheibe in der Mitte festhält und sie zugleich an noch einer Stelle, wohin eine Knotenlinie fallen soll, mit einem Finger berührt, dann in der Mitte zwischen zwei Spitzen streicht. Ihre Bezeichnung ist dann von 2 und 0 bis 5 und 0, die Tonverhältnisse zeigt die unten folgende Tabelle, und es ist dabei nur noch zu bemerken, dafs man die haltenden Finger etwas mehr aus der Mitte rückt, je gröfser die Zahl der durchgehenden Linien werden soll, weil in diesem Verhältnisse der ruhende Raum in der Mitte gröfser wird. Die Zahl der durchgehenden Linien läfst sich übrigens noch vermehren, namentlich den Versuchen gemäfs bis zu 8, wobei zugleich merkwürdig ist, wie die geraden Linien durch Verzerrung in krumme übergehn, indem die beiden krummlinigen Figuren der Zeichnung nichts anders als Verzerrungen der Sterne mit 10 und mit 16 Spitzen sind, wie die Tonhöhe angiebt und auch aus dem Anblicke der Figu-

Fig. 97. bis 100.

Fig. 101. u. 102.

Digitized by Google

ren ersehn wird. Auch bei den runden Scheiben giebt die durch 2 und 0 bezeichnete Figur den tiefsten Ton, wofür Chladni die Bezeichnung C gewählt hat. Unter den krummlinigen Figuren ist diejenige die einfachste, die aus einem mit dem Rande der Scheibe concentrischen Kreise besteht; sie wird leicht erhalten, wenn man die Scheibe in einem Puncte der Kreislinie mit spitzigen Fingern hält und ungefähr unter diesem Puncte am Rande langsam und etwas stark streicht. Fig. 103. Unter den von Chladni mitgetheilten Zeichnungen finde ich diejenige Figur nicht, welche leicht entsteht, nämlich wenn der Kreis in ein Oval übergeht; dagegen wird bemerkt, dafs der angegebene Kreis oft durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien durchschnitten wird. Da man sich dieses leicht vorstellen kann, so überhebe ich mich der Mühe, die Sache durch Zeichnungen zu versinnlichen, und bemerke blofs, dafs die durchschneidenden Linien von 1 bis 4 wirklich erhalten worden sind, wobei jedoch der Kreis um so viel weiter aus der Mitte rückt, je gröfser die Zahl dieser Linien wird, und daher bei vier solchen Linien nur ungefähr halb so weit vom Rande absteht, als wenn er durch gar keine Linie geschnitten wird. Ebendieses Hinausrücken ist der Fall, wenn sich noch ein kleinerer concentrischer Kreis erzeugt, wobei entweder beide Kreise allein vorhanden oder gleichfalls von einer bis zwei sich durchkreuzenden Linien durchschnitten seyn können. Der innere Kreis wird kleiner und es entsteht dann noch ein zweiter und vermuthlich ist selbst noch ein dritter möglich; das Verhältnifs dreier, von einer geraden Linie durchschnittener, versinnlicht die Zeichnung. Fig. 104. Der innere Kreis scheint nach den durch Chladni mitgetheilten Figuren zu schliefsen einige Verzerrung zu erleiden, aber nie in eine eigentliche schlangenförmig gewundene Linie überzugehn, was bei einem oder den mehreren äufsern leicht der Fall ist. Indem aber aufserdem auch die geraden durchgehenden Linien gebogen werden, so begreift man leicht, dafs hiernach vielfach verschieden gestaltete Figuren zum Vorschein kommen müssen, zu deren Versinnlichung ich aus vielen blofs zwei der am meisten zusammengesetzten hier mittheile. Fig. 105. u. 106.

Rücksichtlich des Hervorbringens der hier erwähnten Figuren ist noch zu bemerken, dafs man den einen Kreis mit der ihn durchschneidenden einen Linie leicht hervorbringt, wenn

Digitized by Google

man die Scheibe in einem Durchschnittspuncte beider hält und in etwa 90° Abstand von diesem Puncte streicht; um aber mehrere dieser Linien zu erhalten, wird die Scheibe aufserdem an den Stellen, wohin diese fallen sollen, leicht berührt und mitten zwischen den Enden zweier Linien gestrichen. Unter die schwierigsten Figuren gehören die concentrischen Kreise ohne gerade Linien, so wie überhaupt alle Figuren, worin sich keine Linien schneiden. Um mehrere Kreise zu erhalten, wird die Scheibe in einem Puncte des einen Kreises mit sehr spitzigen Fingern gehalten, in einem Puncte des zweiten oder eines der übrigen mit einem Finger berührt und unter der gehaltenen Stelle gestrichen; geschieht dieses in einiger, bis 90° zunehmender Entfernung, so entsteht eine und auch wohl mehrere durchgehende gerade Linien, auch mufs der Abstand der Kreise von einander insofern richtig gewählt seyn, dafs ein gehöriges Verhältnifs der Längen der zwischenliegenden und der nach dem Rande hin sich erstreckenden Theile in der Art statt findet, wie dieses bereits bei transversal schwingenden Stäben angegeben worden ist, woraus dann von selbst folgt, dafs durch die Erzeugung eines zweiten Kreises aus diesem richtigen Abstande die Menge der übrigen gleichzeitig entstehenden von selbst folgt. Die gebogenen Kreise entstehn leicht von selbst, wenn man die einfachen zu erzeugen beabsichtigt, überhaupt ist die Mannigfaltigkeit der Figuren, die sich blofs zufällig zeigen, wenn man mit geeigneten Scheiben Töne hervorzubringen versucht, sehr grofs, wie sich aus der Menge derjenigen ergiebt, welche Chladni in seinen Schriften, namentlich in: *Entdeckungen über die Theorie des Klanges,* abgebildet hat, und es ist dabei hauptsächlich nur erforderlich, einen ansprechenden Ton festzuhalten und deutlich zu erzeugen. Das Verhältnifs der Figuren und der erzeugten Töne rücksichtlich der Zahl der gerade durchgehenden und der kreisförmigen Linien zeigt die nachfolgende Tabelle, worin die römischen Zahlen die Menge der Kreise, die arabischen Ziffern aber die der geraden Linien bezeichnen.

Digitized by Google

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0			C	d	c	g	cis	fis	b
I	gis	b	g	d	gis	cis	e	g	
II	gis	e	b	dis	g	h	cis	dis	
III	b	e	gis	c	dis	fis	gis	b	
IV	a	cis	f	g	b	c	cis		
V	f	gis	h	cis					
VI	h	d	e	f					
VII	e								

Als ein interessantes Endresultat der Untersuchungen hat Chladni für runde Scheiben aufgefunden, dafs für eine Anzahl von kreisförmigen Linien = K und von durchgehenden Linien = L das Verhältnifs der Töne durch $(L + 2K)^2$ ausgedrückt wird, wenn man kleine Abweichungen, wonach einige Töne vermuthlich in Folge nicht streng gleichmäfsiger Dicke und absolut runder Form der Scheiben etwas höher oder tiefer ausfallen, nicht in Anschlag bringt.

Auch die runden Scheiben kann man anstemmen und auf diese Weise veränderte Figuren erzeugen, deren Untersuchung mir aber die Wissenschaft nicht zu fördern scheint, weswegen ich die Sache hier nur beiläufig erwähne.

31) Das Verhalten elliptischer Scheiben, deren Untersuchung grofses Interesse gewährt, mufs der Natur der Sache nach von ihrer Excentricität abhängen, indem diejenigen, bei denen die beiden Brennpuncte nur wenig von einander ab-

Digitized by Google

stehn, fast genau mit den runden übereinkommen, dann aber sich stets mehr den rectangulären nähern, je gröfser der Abstand beider Brennpuncte von einander wird. Zur leichtern Uebersicht unterscheidet Chladni die in der Richtung der Axe gehenden Linien als Längenlinien, sie mögen gerade oder gekrümmt seyn, so dafs also eine dem Rande genau oder nahe genau parallel laufende Linie für zwei der Länge nach gehende gilt, und die die grofse Axe schneidenden als Querlinien, bei ihrer Zusammenstellung aber setzt er die letztern voran, wonach also 1 und 2 eine Figur bezeichnen würde, worin sich eine Querlinie und zwei Längenlinien befinden. Hiernach lassen sich die Figuren leicht ordnen, und das Verfahren, wodurch man dieselbe erzeugt, folgt im Allgemeinen aus den bisher mitgetheilten Vorschriften. Sollen also die Fi-
Fig. 107. bis 110. guren mit blofsen Querlinien oder die durch 2 und 0, 3 und 0 u. s. w. bezeichneten zum Vorschein kommen, so hält man die Scheibe in der Mitte der einen äufsersten Linie, setzt bei mehrern noch einen Finger in die Mitte einer der folgenden auf und streicht unter dem gehaltenen Puncte möglichst nahe
Fig. 111. bis 115. am Ende der grofsen Axe. Die Reihe der Figuren mit mehrern Querlinien und einer in der Mitte sie schneidenden Längenlinie von der Bezeichnung 1 und 1, 2 und 1, 3 und 1 u. s. w. wird auf gleiche Weise erzeugt, indem man die Scheibe im Durchschnittspuncte der äufsersten Querlinie und Längenlinie hält, bei mehreren zugleich im nächstfolgenden Durchschnittspuncte einen Finger aufsetzt und mitten zwischen den Enden der erstern beiden Linien streicht. Die so entstehenden Töne sind klingender, als die vorhergehenden, weil die Schwingungen durch das Streichen weniger gehindert wer-
Fig. 116. bis 128. den. Sollen diejenigen Figuren erzeugt werden, bei denen eine innere Ellipse allein vorhanden ist oder durch Querlinien allein oder durch noch eine Längenlinie oder durch diese und noch Querlinien geschnitten wird, so verfährt man auf ganz gleiche Weise. Zur Versinnlichung dieser einander sehr ähnlichen Figuren theile ich blofs die Zeichnungen derjenigen mit, die durch 0 und 2, 1 und 2, 0 und 3, 1 und 3, 2 und 3, 3 und 3, 4 und 3, 5 und 3 bezeichnet werden. Bei allen diesen fafst man die Scheibe am besten im Durchschnittspuncte der inneren Ellipse mit der grofsen Axe, erleichtert das Entstehn der folgenden Querlinien durch Aufsetzen eines

Digitized by Google

Fingers und streicht zwischen den beiden Enden derjenigen Linien, die sich im Haltungspuncte durchkreuzen. Auch bei diesen Figuren rückt die innere Ellipse dem Rande der Scheibe näher, wenn mehrere Querlinien vorhanden sind.

Das Verhältnifs der grofsen Axe zur kleinen kann sehr verschieden seyn, und es ist schon bemerkt worden, dafs hiernach das Verhalten der Scheiben entweder mit dem der runden übereinkommt, oder sich mehr dem der länglich rectangulären nähert. Chladni hat indefs aufgefunden, dafs die Verhältnisse $5:3$, $8:3$, $11:3$, überhaupt $5+3n:3$, worin n sowohl $=0$ als auch irgend eine ganze Zahl seyn kann, unter die merkwürdigsten gehören. Es findet hierbei nämlich das Gesetz statt, dafs bei allen diesen Scheiben, wenn Q die Zahl der Querlinien und L die der Längenlinien bezeichnen, die Töne einander gleich sind, wenn $Q+(n+2)L$ dieselbe Summe giebt. Um hierüber Gewifsheit zu erlangen, wurden die Tonverhältnisse nicht blofs an vielen, sondern auch an vorzüglich grofsen elliptischen Scheiben von ungleichen Excentricitäten von ihm untersucht. Von den vielen hiernach erhaltenen Resultaten theile ich blofs die Tonverhältnisse zweier Scheiben mit, bei denen dieses Gesetz in Anwendung kommt und deren Töne aufserdem mit denen einer runden Scheibe verglichen worden sind. Wenn nämlich eine runde Scheibe diejenigen Tonverhältnisse zeigt, die in der eben hierüber mitgetheilten Tabelle aufgezeichnet sind, so giebt sie in eine elliptische verwandelt, deren Durchmesser sich wie $5:3$ verhalten, die folgenden, wobei die in der ersten verticalen Columne enthaltenen Zahlen die Menge der nach der Länge laufenden Linien (eine Ellipse für 2 gerechnet) bezeichnen, die in der obern horizontalen aber die Querlinien.

Digitized by Google

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	$\overline{\text{f}}$	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	$\overline{\overline{\text{g}}}$			
1		Gis	a	$\overline{\text{g}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$
2	a	$\overline{\text{g}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$		
3	$\overline{\overline{\text{d}}}$	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$				
4	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$						
5	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$								

Man übersieht bald die hier vorkommenden gleichen Töne; zu mehrerer Deutlichkeit aber stelle ich die Zahl der Querlinien = Q und der Längenlinien = L (diese letzteren einfach, so dafs sie also doppelt genommen werden müssen, um $S = Q + 2L$ zu erhalten) zusammen und setze unter diese die Töne, die hiernach durch die verschiedenen Combinationen gleichartig erhalten werden.

	Q L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	2 + 1	3 + 1	4 + 1	5 + 1	6 + 1	7 + 1	8 + 1	9 + 1
	0 + 2	1 + 2	2 + 2	3 + 2	4 + 2	5 + 2	6 + 2	7 + 2
			0 + 3	1 + 3	2 + 3	3 + 3	4 + 3	5 + 3
					0 + 4	1 + 4	2 + 4	3 + 4
							0 + 5	1 + 5
S =	4	5	6	7	8	9	10	11
T =	a	$\overline{\text{g}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$

Unter den vielen andern, durch Chladni untersuchten Verhältnissen theile ich nur noch das von 8:3 mit, und wiederhole die Bemerkung, dafs auch hierbei die Angaben sich auf die oben mitgetheilten Tonverhältnisse einer runden Scheibe beziehen, indem angenommen wird, dafs eine solche in eine elliptische von dem angegebenen Axenverhältnisse verwan-

Digitized by Google

delt werde. Uebrigens bleiben die Bezeichnungen die nämlichen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	$\overline{\text{fis}}$	d				
1		d	$\overline{\text{d}}$	$\overline{\text{h}}$	$\overline{\overline{\text{f}}}$	$\overline{\overline{\text{b}}}$	$\overline{\overline{\text{dis}}}$	$\overline{\overline{\text{g}}}$	$\overline{\overline{\text{h}}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$
2	$\overline{\text{h}}$	$\overline{\overline{\text{f}}}$	$\overline{\overline{\text{b}}}$	$\overline{\overline{\text{dis}}}$	$\overline{\overline{\text{g}}}$	$\overline{\overline{\text{h}}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$			
3	$\overline{\overline{\text{dis}}}$	$\overline{\overline{\text{g}}}$	$\overline{\overline{\text{h}}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$						
4	$\overline{\overline{\text{d}}}$									

Hierin geben also folgende Combinationen nach der Formel $S = Q + 3L$ gleiche Töne:

	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	3+1 0+2	4+1 1+2	5+1 2+2	6+1 3+2 0+3	7+1 4+2 1+3	8+1 5+2 2+3	9+1 6+2 3+3 0+4
S =	6	7	8	9	10	11	12
T ⇌	$\overline{\text{h}}$	$\overline{\overline{\text{f}}}$	$\overline{\overline{\text{b}}}$	$\overline{\overline{\text{dis}}}$	$\overline{\overline{\text{g}}}$	$\overline{\overline{\text{h}}}$	$\overline{\overline{\text{d}}}$

Auch auf halbrunden Scheiben kommen Figuren zum Vorschein, die im Ganzen von der Art sind, dafs sie die auf einer runden erzeugten bilden, wenn man deren zwei zusammensetzt, welches auch bei solchen meistens der Fall ist, die blofs einen Kreissector ausmachen. Chladni hat auch diese genauer untersucht und ihre Tonverhältnisse bestimmt, es scheint mir jedoch unnöthig, hierüber mehr ins Einzelne einzugehn.

31) Praktische Anwendungen der durch eigene Steifheit elastischen und hiernach tönenden Scheiben giebt es in der Musik nur wenige. Als solche sind hauptsächlich die *Becken*

Digitized by Google

(*cymbales*) zu nennen, flache Teller mit einem Buckel in der Mitte, wo sich ein Riemen zum Halten derselben befindet, und die man bei der Militärmusik (sogenannten türkischen Musik) und in lärmenden Opernstücken anzuwenden pflegt. Sie sind von Messing oder einer andern, der Glockenspeise ähnlichen Legirung von Kupfer, selten bei hohem Luxus von Silber. Wenn sie dünn sind, geben sie keinen eigentlichen oder einen nicht genau bestimmbaren Ton, sondern erzeugen ein bloſses Geräusch und dienen also, wie die Trommeln, bloſs zur Vermehrung des Getöses, dicker und elastischer lassen sie sich durch Abnehmen des Randes höher auf einen bestimmten nicht übel klingenden Ton stimmen[1]. Vieles Aufsehn erregte seit mehrern Jahren ein aus China gebrachtes Instrument, *Tam-Tam* oder *Gong-Gong*[2], welches sich durch seine aufserordentliche Sprödigkeit und grofses spec. Gewicht auszeichnet; auch kann man dasselbe in Europa nicht nachmachen, da die Chinesen die Art der Verfertigung geheim halten. Chladni[3] sah solche ächte Instrumente zuerst zu Dresden, später zu Kopenhagen und Paris; an letzterem Orte sah ich gleichfalls das schöne Exemplar im *Conservatoire des arts*. Es gleicht einem schlechten kupfernen Deckel, hat ungefähr 1,5 Fufs im Durchmesser, einen etwas über einen Zoll hohen, nicht scharf umgebogenen Rand, wird an einem Bande, welches durch zwei Löcher im Rande gezogen ist, freischwebend gehalten und mit einem Klöppel, an dessen Ende sich ein über eine Faust dicker, mit Leder überzogener, fest gepolsterter Knauf befindet, in der Mitte stark geschlagen und erzeugt dann einen furchtbar hell klingenden, zuletzt etwas rasselnden Ton, von einer Stärke und Dauer, dafs er wahrhaftes Erstaunen erregt. Die Ursache hiervon ist vermuthlich in dem hohen Grade der Sprödigkeit zu suchen, die diesem Metallgemische eigen ist, die aber mit einer unverhältnifsmäfsigen Zähigkeit durch die eigenthümliche Bearbeitungsart verbunden wird, wie man aus seinem grofsen spec. Gewichte schliefsen mufs[4]. Aufserdem giebt es in China ein musika-

1 Vergl. Paradisi über Schwingungen elastischer Bleche in Memorie dell' Instituto nationale Italiano. T. I. part. 2.

2 S. diesen Art. Bd. IV. S. 1612.

3 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

4 Nach der Angabe von Biot Traité de Phys. T. II. p. 185. hat

Digitized by Google

lisches Instrument, *King* genannt, welches nach Chladni[1] aus etwa 16 Stücken Glas oder einer glasigen schwarzen Steinart von der Form der Zeichnung besteht. In einem jeden befindet sich im Durchschnittspuncte n der beiden Linien, welche eb und dc halbiren und mit den Seiten parallel laufen, ein Loch, wo die Scheibe aufgehangen und im Puncte g mit einem Klöppel geschlagen wird. Das Loch befindet sich allezeit im Schwingungsknoten, aufserdem aber hatten später von Chladni[2] gesehene Scheiben die Gestalt eines Wallfisches oder eines Drachen, mit vielen eingeschnittenen Figuren, woraus hervorgeht, dafs die Gestalt nicht wesentlich ist. Fig. 124.

32) Bei der bisherigen Darstellung der Schwingungsgesetze elastischer Scheiben bin ich demjenigen gefolgt, was Chladni in diesem wichtigen Zweige der Akustik zuerst aufgefunden, durch seltenen Fleifs später erweitert und in einen genauen Zusammenhang gebracht hat. Seitdem haben verschiedene Gelehrte die nämliche Aufgabe gleichfalls zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gewählt, wodurch dieselbe noch etwas erweitert worden ist. Hauy[3] untersuchte die Gesetze schwingender Flächen; Savart[4] suchte durch eine Reihe von Versuchen darzuthun, dafs aufser den Hauptschwingungen der Scheiben, die durch die Sandfiguren angegeben werden, noch secundäre vorhanden seyen, die durch andere leichte Körper, als namentlich *semen lycopodii*, aufgefunden würden, die aber mit jenen in so genauem Zusammenhange ständen, dafs man sie aus denselben im voraus zu bestimmen vermöge. Faraday[5] hat diese Versuche mit Anwendung mehrerer leichter

---

Darcet aufgefunden, dafs diese Metallmischung abgelöscht hämmerbar, nach langsamem Erkalten aber spröde ist; diese Instrumente müssen daher im erstern Zustande gearbeitet und nachher gehärtet worden seyn. Vergl. Ann. Ch. Ph. T. LIV. p. 331.

1 Akustik. S. 193. Die mitgetheilte Beschreibung ist entnommen aus Mémoires concernants les Chinois. T. VI. redigés par Amiot P. II. p. 255. und aus Histoire générale de la Chine T. XIII. redigé par Grossier. Par. 1785. p. 300. u. 772.

2 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

3 Journ. de Phys. T. LXXXVIII. p. 125.

4 Ann. Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 187.

5 Phil. Trans. 1831. p. 299 ff. Poggendorff's Ann. XXVI. 193.

Digitized by Google

Körper wiederholt und gefunden, dafs diese zuweilen, aber nicht allezeit, die Hauptfiguren zwar gleichfalls bilden, zu derselben Zeit aber sich über den schwingenden Stellen anhäufen. Inzwischen dienen die erhaltenen Resultate nicht sowohl zur Aufklärung der Schalllehre, als vielmehr zur Erforschung des eigenthümlichen Verhaltens vibrirender Scheiben. Unter den vielen interessanten Figuren, die hierbei zum Vorschein kamen, ist eine der merkwürdigsten diejenige, welche entsteht, wenn eine längliche Glasplatte in den zwei Schwingungsknoten unterstützt und zum Tönen gebracht wird, wobei noch eine Menge von Modificationen dadurch eintreten, dafs der Staub sich neben kleinen auf- oder angeklebten Papierstreifchen aufhäuft, wie aus der des Beispiels wegen mitgetheilten Zeichnung ersichtlich ist. Auch auf die Zinke einer tönenden Stimmgabel kann man feinen Staub streuen und solche Anhäufungen wahrnehmen, noch besser aber das Hinstreben des Staubes nach dem Mittelpuncte der Schwingungen, wenn man eine Thierblase über einen hohlen Cylinder straff ausspannt, in der Mitte ein durchgezogenes Pferdehaar zwischen den Fingern mit etwas Colophoniumpulver streicht und Lycopodiumsamen aufstreut. Fig. 125. Faraday leitet diese Erscheinungen von der Luft ab, die über den schwingenden Theilen in Bewegung gesetzt wird und diese dann dem Pulver mittheilt, wie sich sehr augenfällig zeigte, als sie ausblieben, wenn der Apparat unter einen luftleeren Recipienten gebracht und das durch einen Kork hervorragende Pferdehaar gerieben wurde. Bei einer auf 4 Korkstücken einige Zoll unter Wasser ruhenden Glasscheibe, über deren Mitte eine Glasröhre gestemmt und in longitudinale Schwingungen versetzt wurde, häufte sich das aufgestreuete Eisenfeilicht gleichfalls nicht über den ruhenden, sondern den bewegten Stellen an. Bei quadratischen sowohl als auch bei runden Scheiben wurden einzelne Tropfen von Wasser oder Oel bald auf die untere, bald auf die obere Fläche so gebracht, dafs sie über den Knotenlinien durch ihre Adhäsion festhingen; sobald aber die Scheiben in horizontaler oder selbst geneigter Lage tönten, sammelten sie sich über den schwingenden Theilen und bildeten dort Anhäufungen. Faraday gründet hierauf den Schlufs, dafs die von Savart angenommenen secundären Schwingungen gar nicht existiren und die angegebenen Wirkungen viel-

Digitized by Google

mehr der Luft oder dem Wasser beizumessen sind, die durch die Vibrationen in Bewegung gesetzt die leichten Körper mit sich fortreifsen. Auch bei den Wasserwellen, die nach WHEATSTONE auf den Scheiben erzeugt werden, bemerkt man deutlich, dafs sie sich über den vibrirenden Stellen anhäufen. Die interessanten Phänomene lassen sich ausnehmend vervielfältigen, wenn man auf Glasscheiben von ungleicher Gröfse, quadratischen oder runden, Glasstäbe vertical aufkittet, sie mit einer dünnen Schicht von verdünnter Tinte übergiefst, dann durch Reiben der Glasröhre in Schwingungen versetzt und das Licht hindurchfallen läfst, welches blofs durch die freien Stellen dringt und es möglich macht, die über der ganzen Scheibe meistens sehr regelmäfsig und zahlreich verbreiteten Anhäufungen wahrzunehmen. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man das Ende einer in longitudinale Schwingungen versetzten Röhre mit Wasser in Berührung bringt oder wenn man eine Latte in horizontaler Lage befestigt, das freie Ende derselben über ein Gefäfs mit Wasser bis zur Mitte desselben hinüberragen läfst und durch einen unten angeklebten Kork mit der Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung bringt, dann auf der Latte ein verticales Glasstäbchen befestigt und dieses durch Reiben in longitudinale Schwingungen versetzt, wodurch die Oberfläche der Flüssigkeit in wellenförmige Bewegungen (*crispations* nach FARADAY) versetzt wird. Im Ganzen zeigen diese Versuche augenfällig, dafs auch bei den transversalen Schwingungen der elastischen Körper auf gleiche Weise wellenartige Schwingungen der einzelnen Theile statt finden, als bei den longitudinalen der Stäbe §. 17. untersucht worden sind, und die man daher secundäre nennen kann, insofern sie die Töne nicht unmittelbar erzeugen; die Figuren lassen sich aber leicht erzeugen, wenn man Scheiben mit Lycopodiumpulver bestreuet und nach CHLADNI's Methode durch Streichen in transversale Schwingungen versetzt; noch schöner und anhaltender aber kann das Erzeugen der Wolken, das Ansammeln der kleinen Häufchen, die Anwesenheit der Knotenlinien und das endliche Anhäufen alles Staubes in der Mitte beobachtet werden, wenn man sich der oben beschriebenen straffen Thierblase mit einem Pferdehaare bedient.

Interessant sind ferner die Resultate, zu denen SAVART[1]

1 Ann. Chim. et Phys. T. XL. p. 1. u. 113.

Digitized by Google

gelangt ist. Er hat nämlich aufgefunden, dafs die Schallfiguren auf Scheiben eine durch die Structur der Körper modificirte Veränderung erhalten, die durch die Richtung ihrer fibrösen und weicheren Theile, desgleichen ihr krystallinisches Gefüge bedingt wird und zugleich auf die Höhe der Töne einen Einfluſs äufsert. Er hat seine Versuche hauptsächlich auf Scheiben aus Holzarten, die in verschiedenen Richtungen gegen ihre Fibern geschnitten waren, auf solche aus Quarz und Kalkspath ausgedehnt und die entstehenden Figuren benutzt, um die eigenthümliche Structur dieser Körper aufzufinden. Da diese Aufgabe jedoch von der eigentlichen Schalllehre etwas weiter entfernt liegt, so mufs ich namentlich in Beziehung auf die grofse Menge der mitgetheilten Figuren auf die Abhandlung selbst verweisen.

Vorzugsweise verdienen noch die Bemühungen erwähnt zu werden, welche Strehlke[1] diesen Klangfiguren gewidmet hat. Zuvörderst setzt er die üblichen Glasscheiben polirten Metallscheiben von Messing oder Glockenspeise nach, weil die letztern, wenn sie genau gearbeitet und etwa 0,5 bis 0,75 Lin. gleichmäfsig dick sind, die Knotenlinien bei weitem regelmäfsiger geben sollen. Sie gewähren noch aufserdem den Vortheil, dafs man ohne Nachtheil die Stellen, wo die Scheiben gehalten und wo sie mit dem Bogen gestrichen werden müssen, mit feinen, auf der polirten Fläche leicht sichtbaren, durchkreuzenden Linien oder Sternchen bezeichnen kann. Das Halten zwischen den Fingern, so bewundernswürdige Fertigkeit Chladni auch darin hatte, scheint ihm zu unbequem und er zieht daher eine eiserne Klemme mit einem hölzernen Handgriffe a vor, deren Schenkel etwa 4 Z. lang, drei Lin. dick, ebenso breit und am einen Ende mit einer Klemmschraube versehn seyn können, welcher am entgegengesetzten ein kurzer Cylinder gegenübersteht. Auf diesem liegt ein Tuchscheibchen von etwa zwei Lin. Durchmesser, und mit einem gleichen wird das kurze Cylinderstück bedeckt, welches das Ende der Feder bildet, in dessen Vertiefung die Spitze der Klemmschraube drückt; beide Scheibchen müssen von Sande frei gehalten werden, um auf den polirten Metallscheiben keine Risse zu erzeugen. Zum Bestreuen empfiehlt er feinen Quarzsand

Fig. 126.

1 G. LXXX. 205.

oder schwärzlichen magnetischen Eisensand, verwirft dagegen den Lycopodiumstaub insofern mit Recht, als ihm zunächst um die scharfen geometrischen Figuren, aber nicht um die durch FARADAY hervorgehobenen Erscheinungen zu thun ist. Als allgemeine Gesetze stellt STREHLKE auf, dafs die durch die Klangfiguren bezeichneten Linien stets krumme und eigentliche Linien, keine Flächen sind, auch sich nie durchschneiden. Um dieses zu beweisen, wird gezeigt, wie beim Aufstreuen von wenig Sand die durch CHLADNI gezeichneten geradlinigen Figuren durch schärfere Bezeichnung der eigentlichen Knotenlinien sich als krummlinig zeigen. Inzwischen erklärt sich CHLADNI[1] entschieden gegen diese Behauptungen, und betrachtet die gefundenen Abweichungen als Folge eines Mangels gleichmäfsiger Dichtigkeit und Dicke bei Metallscheiben, die deswegen weniger zu solchen Versuchen geeignet seyen. Dafs die Durchschnitte der Knotenlinien oft durch krumme Linien begrenzt sind, betrachtet er mit Recht als eine Folge der geringern Excursionen, welche die schwingenden Theile dort machen, die also den Sand nicht zu entfernen vermögen; überhaupt aber haben CHLADNI's Ansichten dieses Problems durch die Untersuchungen der Gebrüder WEBER in ihrer Wellenlehre eine solche Bestätigung erhalten, dafs man ihnen unbedingtes Vertrauen schenken kann. Der durch STREHLKE vorgeschlagene Halter findet zwar bei CHLADNI gleichfalls keinen Beifall, allein da nicht alle Experimentatoren eine gleiche Fertigkeit besitzen, als dieser geübte Akustiker, so glaube ich, dafs derselbe mit Recht Empfehlung verdient.

Inzwischen ist STREHLKE[2] in Folge seiner fortgesetzten Untersuchungen, ungeachtet dieses Widerspruches, keineswegs geneigt, seine aufgestellten Behauptungen zurückzunehmen, jedoch giebt er zu, dafs Glasscheiben den Metallscheiben an Tauglichkeit zur Auffindung der eigentlichen Knotenlinien mindestens sehr nahe kommen. Nicht mit Unrecht sucht er vorzüglich zu vermeiden, dafs der Sand durch irgend eine Klebrigkeit an Stellen der Scheiben haften bleibe und dadurch die Entstehung der scharfen Linien hindere. Aus dieser Ursache

1 G. LXXXI. 345.
2 Poggendorff's Ann. XVIII. 198. Vergl. XXIV. 537.

Digitized by Google

räth er die Glasscheiben mit Blattgold zu überziehn oder mit einem sehr dünnen Ueberzuge von Schellackfirnifs, oder ihre Oberfläche fein matt zu schleifen, was auch bei Metallscheiben vortheilhaft ist. Aufserdem müssen die mit den Fingern berührten Stellen sorgfältig wieder gereinigt werden, auch darf von dem möglichst gleichmäfsig aufgestreuten Sande keine gröfsere Menge vorhanden seyn, als dafs 3 bis 4 Körnchen auf die Quadratlinie kommen. Endlich soll sogar ein ungleich starkes Festhalten der Scheiben zwischen den Fingern oder zwischen den Schenkeln der Klemmschraube die Gestalt der Figuren so bedeutend abzuändern vermögen, dafs es kaum möglich sey, die nämliche Figur mehrmals nach einander zu erzeugen, was nothwendig ist, wenn ihre Dimensionen genau gemessen werden sollen. Strehlke hat daher seine Versuche blofs auf die einfachsten Figuren beschränkt, die auf Quadratscheiben entstehn, wenn sie in einem oder mehrern Puncten auf den Spitzen der Fingern ruhn. Dieses wird unter andern bewerkstelligt, wenn man die Scheibe in den Puncten E, C, D mit dem Daumen, Zeigefinger und dem fünften Finger unterstützt und mitten zwischen D und F vertical mit dem Bogen streicht, worauf jederzeit die gezeichnete, aus zwei hyperbolischen Curven bestehende Figur zum Vorschein kommt, deren Hauptaxe AB ist, womit ihre Asymptoten einen Winkel gröfser als 45° einschliefsen. Unter der Voraussetzung, dafs die Gleichung der Curve sey

Fig. 127.

$$y^2 = px + qx^2,$$

versuchte er die Werthe von p und q durch Messung aufzufinden, woraus eine hinlängliche Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung hervorging. Hiernach betrachtet er also die sonstigen zusammengesetzten Figuren als aus solchen hyperbolischen Curven bestehend, und dafs dieses für eine grofse Zahl derselben richtig sey, läfst sich bei der Genauigkeit der Versuche wohl nicht bezweifeln; ob aber hierdurch die aufgestellten Sätze in gröfster Allgemeinheit bewiesen sind, unterliegt immer noch einigem Bedenken.

33) Scheibenförmige, durch innere Steifheit elastische Körper müssen auch longitudinale Schwingungen haben können, wie schon daraus folgt, dafs bei dieser Art von Schwingungen elastischer Stäbe ihre Dicke keinen bedeutenden Einfluss ausübt und man durch Vermehrung der Breite bei Stäben

Digitized by Google

zu schmalen Rectangulärscheiben gelangt. Zugleich liegt es jedoch in der Natur der Sache, dafs es mühsam und schwierig seyn mufs, Scheiben von etwas beträchtlicher, nur etwa 2 Zoll betragender Breite in longitudinale Schwingungen zu versetzen, und bei gröfserer Breite ist dieses überall kaum möglich, da ohnehin eine nicht unbeträchtliche Länge hierfür unumgänglich nothwendige Bedingung ist. Savart[1] hat diese longitudinalen Schwingungen vorzüglich untersucht und gefunden, dafs dabei gewisse Theile der Scheiben sich verdichten, andere dagegen ausgedehnt werden, woraus dann in Absätzen Schwingungsknoten, wie bei den Längentönen der Stäbe, entstehn, wobei noch die merkwürdige Eigenthümlichkeit statt findet, dafs die Schwingungsknoten auf beiden Seiten der Scheiben entgegengesetzt wechseln, indem da, wo auf der einen Seite sich der Sand anhäuft, er auf der entgegengesetzten zerstreuet wird. Biot[2] hat die hierbei entstehenden Verdichtungen auf eine interessante Weise dadurch sichtbar gemacht, dafs er den polarisirten Lichtstrahl durch solche schwingende Scheiben fallen liefs und dann eine Verdunkelung des Lichts durch die verdichteten Stellen wahrnahm. Am einfachsten werden diese Schwingungen bei Anwendung desjenigen Verfahrens wahrgenommen, welches die Gebrüder Weber[3] angegeben haben. Man klemmt nämlich einen gegen zwei Fufs langen Glasstreifen zwischen zwei Korkstückchen in einen Feilkloben, hält ihn vermittelst des letztern horizontal, reibt ihn am einen Ende mit einem wollenen Läppchen auf die bei Stäben gewöhnliche Weise und streuet Sand darauf, dann ordnet sich dieser über 4 oder 5 sammelnden Querlinien. Merkt man die Stellen derselben, dreht dann den Streifen um und verfährt wie vorher, so ergiebt sich, dafs die dann gleichfalls gebildeten Knotenlinien in die Zwischenräume zwischen den ersteren fallen. Selbst auch verzogene Linien werden auf diese Weise erhalten, welche gleichfalls auf beiden Seiten eine entgegengesetzte Lage haben und daher sehr genau mit den bei Stäben sich zeigenden gewundenen Linien übereinkommen. Die auf diese Weise erzeugten

1 Ann. Chim. Phys. XIV. 116.
2 Ann. Ch. Phys. XIII. 151. G. LXV. 26.
3 Wellenlehre S. 562.

Digitized by Google

Töne sind zwar sehr hoch, können aber nicht durch Schwingungen derjenigen Längen, welche durch die Knotenlinien bezeichnet werden, entstanden seyn und es müssen letztere daher gleichfalls secundären, nicht für sich hörbaren Schwingungen zugehören.

Savart, welcher bei seinen schätzbaren Untersuchungen der Schwingungsgesetze elastischer Körper das unverkennbare Bestreben zeigt, Chladni's Verdienste um die Aufklärung ebendieser Probleme als mangelhaft darzustellen, konnte die Längentöne an einem Stabe, dessen eines Ende eingeklemmt ist, die man sehr passend mit den Luftschwingungen in einer oben verschlossenen Röhre vergleicht, nicht hervorbringen, allein ihre Existenz ist genügend dadurch erwiesen, dafs Chladni sie in der Anwesenheit Gilbert's[1] hervorbrachte, und zwar nicht blofs den einen Grundton, sondern auch den zweiten durch die Bildung noch eines Schwingungsknotens. Sie sind jedoch weit schwieriger zu erhalten als die der freischwebenden Stäbe und erfordern, dafs der Stab sehr fest in einen Schraubstock eingeklemmt werde, weswegen sich hölzerne und metallene Stäbe mehr hierzu eignen als gläserne, welche letztere in eine metallene Fassung oder in ein Stück Holz fest eingekittet seyn müssen, um dem starken Drucke des Schraubstocks zu widerstehn; bei allen aber ist wohl nothwendig, ihnen eine verticale Richtung zu geben, weil sonst die Schwankungen das Entstehn der Töne hindern. Es ist sonach nicht minder schwierig, lange Streifen oder Bleche dann zum Tönen zu bringen, wenn sie an einem Ende oder gar an beiden befestigt sind, auch bietet diese Art des Verfahrens nicht viel Interesse dar, weil man die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Schwingungen nicht wohl erkennen kann, und die Untersuchungen beziehn sich daher in der Regel nur auf die Schwingungen freigehaltener Streifen.

Die Glasstreifen, deren sich Savart zu seinen Versuchen bediente, waren von 6 Fufs bis 6 Zoll lang, und bei den kurzen ist erforderlich, dafs sie nur hinlänglich schmal und dünn sind. Am besten hält man sie in der Mitte zwischen den Fingern und reibt das eine Ende auf die mehrmals

1 Dessen Ann. LXVIII. 162.

Digitized by Google

angegebene Weise. Der Ton, welcher dann zum Vorschein kommt, ist gleichfalls der tiefste des Streifens; wenn man letztern jedoch am vierten, sechsten oder achten Theile von seinem Ende an festhält, so giebt er die Octave, dann die Quinte, und demnächst noch eine Quarte, die Töne folgen also wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4, oder, wenn der erste eingestrichen c genannt wird, so ist ihre Reihenfolge $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, jedoch lassen sich alle diese vier Töne nur mit 6 Fuſs langen Streifen erzeugen. Uebrigens erhält man die Längentöne auch dann namentlich bei Metallstreifen, wenn man sie frei schwebend hält und gegen ihr eines Ende mit einem harten Körper schlägt, oder noch besser, wenn man an ihr eines Ende in der Mitte und mit ihren Rändern parallel laufend ein kleines Glasröhrchen klebt und dieses mit einem nassen Läppchen reibt. Auf diese Weise lassen sich breitere Streifen und selbst Scheiben in longitudinale Schwingungen versetzen; die Töne bleiben unverändert, wenn das Röhrchen sehr klein ist, werden aber mit zunehmender Gröſse desselben tiefer, auch rücken die Knotenlinien in gleichem Verhältnisse weiter auseinander. Die beiden zuletzt angegebenen Arten, die Längentöne zu erzeugen, geben die Sandfiguren an beiden Enden der Streifen, die dann nicht auf der ganzen Oberfläche gleichmäſsig vertheilt erscheinen können, wenn man eins der Enden zwischen den Fingern reibt; jedoch genügt es auch, bloſs die untere Seite der Streifen zu streichen. Die Knotenlinien fallen übrigens auch dann auf beiden Seiten in die gegenseitigen Zwischenräume, wenn der Streifen mit einem schräg gehaltenen Stabe mehr gegen die eine als gegen die andere Fläche geschlagen wird, so daſs also in dieser ungleichen Vertheilung des Stoſses der Grund dieser Erscheinung nicht liegen kann; auch ersieht man deutlich aus der gleitenden Bewegung des Sandes, daſs die Knotenlinien den Längenschwingungen und keinen transversalen zugehören. Am leichtesten erhält man die Figuren auf schmalen und dünnen Streifen, indeſs geben auch solche, die die doppelte Dicke haben, den nämlichen Ton, aber eine geringere Anzahl Querlinien, woraus hervorgeht, daſs auf gleiche Weise, als bei Stäben, die zum Vorschein kommenden Kno-

Digitized by Google

Wasserwellen und substituiren wir sonach den Verdichtungen und Verdünnungen von jenen die Erhöhungen und Vertiefungen von diesen, so bildet der Raum von einer Erhöhung zur andern a b oder, was einerlei ist, vom tiefsten Puncte bis wieder zur gröfsten Tiefe c d eine Wellenbreite[1]. Legt man in die tiefsten Puncte c und d eine horizontale Linie r s, so giebt diese in α und β die Stellen an, welche die in a und b befindlichen Theile bei einer abermaligen Oscillation erreichen werden, während c und d nach γ und δ gelangen. Die horizontale Linie m n giebt den mittleren Stand aller dieser Puncte an und schneidet die Wellen-Curve in den Puncten p und q, die vom höchsten und tiefsten Puncte um den vierten Theil der ganzen Wellenbreite abstehn. Hier befindet sich also der Punct der Ausgleichung, wo noch keine Wellenbewegung statt findet, und jede aus dem Zustande der Ruhe beginnende Welle mufs also im vierten Theile der ganzen Wellenlänge oder in der Hälfte zwischen dem höchsten und tiefsten Puncte anfangen. Die Gebrüder Weber haben eine sehr bequeme Bezeichnung für die Verdichtungen und Verdünnungen der Wellen, die Wellenberge und Wellenthäler in der Luft gewählt, indem sie beide durch eine linsenförmige Figur anschaulich machen, die für die erstern Querstriche enthält, für die letztern aber blofs aus einer punctirten Begrenzung besteht. Hierbei versteht sich von selbst, dafs die verdichtende Welle beim Rückgange der Oscillation zu einer verdünnenden wird. Nehmen wir daher die wechselnden Stadien der Wellen, so wird im ersten Zeittheile die verdichtende Welle von gegebener Länge den Raum von a bis b durchlaufen und beim An-

Fig. 135.

Fig. 136.

1 Der Sprachgebrauch entscheidet nicht mit Bestimmtheit, ob man Wellenbreite oder Wellenlänge sagen solle, ohne dafs jedoch hieraus Mifsverständnisse erwachsen können, da allezeit der Raum von einem Schwingungsknoten bis zum andern verstanden wird, man mag dieses die Breite oder die Länge der Schallwellen nennen. Man kann daher den einen oder den andern dieser Ausdrücke gebrauchen, sobald von Schall- oder Lichtwellen gehandelt wird. Dafs übrigens zwischen den Schwingungsknoten successiv folgende Verdichtungen und ebenso Verdünnungen der Luft statt finden, die man gleichfalls Wellen nennen und von denen man den Ausdruck Breite und Länge nach Gefallen gebrauchen kann, ohne dafs jedoch diese Gröfse noch nicht einmal annähernd, wie beim Lichte, bestimmt ist, folgt aus der Natur der Wellen von selbst.

Digitized by Google

miges Gewebe von Fasern dachte, die einander rechtwinklig durchkreuzen, allein diese Vorstellungsart ist schwerlich zulässig und auf jeden Fall stimmen die erhaltenen Resultate nicht mit der Erfahrung überein. Als 1809 die Versuche Chladni's bei den Mitgliedern des französischen Institutes, namentlich de la Place, so grofse Aufmerksamkeit erregten, dafs sie den Kaiser Napoleon vermochten, zwei Stunden lang sich dieselben vorzeigen und erläutern zu lassen, und dafs er aufserdem 6000 Fr. als Remuneration für diesen Gelehrten anwies, um eine französische Uebersetzung seiner Akustik zu besorgen, setzte das Institut einen Preis von 3000 Fr. für eine analytische Auflösung des Problems der Schwingungen elastischer Scheiben fest, und nachdem dieselbe Aufgabe zweimal vergebens wiederholt worden war, wurde 1816 der Preis einer Abhandlung der Demoiselle Germain ertheilt, der einzigen, die dem Institute überreicht worden war, und worin sich wenigstens eine richtige Differenzialgleichung und einige neue Untersuchungen befanden[1]. Später hat auch Poisson[2] seine Untersuchungen der Schwingungen elastischer Körper auf Scheiben, namentlich quadratische, ausgedehnt, ohne jedoch das Problem in seinem ganzen Umfange vollständig zu lösen.

34) Ein ähnliches Verhalten, als dasjenige, welches oben §. 20. rücksichtlich der Stäbe zur Untersuchung gekommen ist, zeigen auch die Scheiben, wenn sie zu Glocken gebogen sind, mit dem Unterschiede, dafs im letztern Falle blofs die einfachsten Schwingungen runder Scheiben, wobei die Knotenlinien sich in der Mitte schneiden, zum Vorschein kommen, indem mindestens noch nicht factisch dargethan worden ist, dafs auch die übrigen vielfachen Schwingungen runder Scheiben bei Glocken erzeugt werden können. Wird eine Glocke an irgend einer Stelle angeschlagen, so erhält sie 4 um 90° von einander abstehende Knotenlinien, die sich im Knopfe derselben schneiden, wobei die den Knopf oder Stiel (die Handhabe, den Griff) umgebenden Theile ruhn, und der erhaltene Ton ist, wie bei Scheiben, der tiefste, den die Glocke geben kann. Dafs diese vier (oder zwei ganz durchgehenden, in der Mitte sich durchkreuzenden) Knotenlinien wirklich bei diesem

1 Chladni neue Beitr. zur Akustik S. 8.
2 Mém. de l'Institut. T. VIII. p. 523.

Digitized by Google

durch Anschlagen derselben erzeugten Tone vorhanden sind, ersieht man sehr deutlich daraus, dafs jede Glocke den nämlichen Ton giebt, wenn man sie frei gehalten mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht, oder wenn man sie an einer Stelle ihres Randes oder an zwei um 180° oder an vier um 90° von einander entfernten Stellen schwach mit der Fingerspitze berührt und jedesmal in 45° Abstand von einer der berührten Stellen mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht. Dünne, möglichst gleichmäfsig dicke gläserne Glocken mit mattgeschliffenem Rande, wie man sie für Luftpumpen gebraucht (jedoch ohne Wulst), zeigen dieses ebenso leicht, als bestimmt. Bei diesen Tönen müssen also zwei einander gegenüberstehende Fig. 132. Quadranten gleichzeitig nach innen und die beiden andern nach aufsen gebogen werden und vermöge des schnellen Wechsels dieser Lagen den Ton erzeugen. Diese Bebungen lassen sich sichtbar machen, wenn man ein kleines Knöpfchen Siegellack an einem feinen Faden herabhängend mit der innern Fläche der Glocke in Berührung bringt, indem es dann an den schwingenden Stellen hüpft, an den ruhenden aber unbewegt bleibt, jedoch lassen sich die letztern bei frei gehaltenen Glocken nicht leicht auffinden, vielmehr scheint es bei diesen, wenn sie grofs, d. h. 10 bis 14 Zoll weit, dabei dünn und nicht durchweg gleichmäfsig dick sind, als ob das Hüpfen des Knöpfchens überall, wenn gleich stellenweise in leicht unterscheidbarer gröfserer oder geringerer Stärke, statt fände. Ist die Glocke bis zu irgend einer beliebigen Höhe mit Wasser gefüllt, so lassen sich die Wellen zwar nicht beim blofsen Anschlagen, wohl aber durch Streichen mit einem Violinbogen auffallend deutlich darstellen, ein Versuch, welcher ebenso leicht und interessant ist, als die Erzeugung der Sandfiguren auf Scheiben. Auch hierzu sind kleine Campanen der Luftpumpen von 1,5 bis 2 Zoll Durchmesser und 3 bis 4 Zoll Höhe mit einem kleinen Knopfe und mattgeschliffenem Rande vorzüglich geeignet, jedoch kann man auch gewöhnliche Bier- oder Weingläser dazu benutzen. Die wellenerzeugenden schwingenden Stellen unterscheiden sich dann sehr deutlich von den ruhenden und die Wasserfläche zeigt beide genau so, Fig. 133. wie die Zeichnung angiebt. Hierbei tritt der beachtenswerthe Umstand ein, dafs der Ton zunehmend tiefer wird, je höher

das Wasser in ihnen steigt, man mag ihn durch bloſses Anschlagen oder durch Streichen mit einem Violinbogen erzeugen, und wenn der einmal vorhandene etwas anhält, die Glocke aber während dieser Zeit in eine schräge Lage gebracht wird, so geht der Ton allmälig zu einem bedeutend tiefern über. Weil aber die 4 Schwingungsknoten allezeit vorhanden sind, der Wasserstand sey niedrig oder hoch, und aufserdem der Ton nicht sprungweise, sondern ganz allmälig mit zunehmender Wasserhöhe in einen tiefern übergeht, so kann dieser Unterschied nicht auf einer Verminderung der Zahl der Schwingungsknoten beruhen. Chladni, übrigens so vollständig in der Angabe aller, selbst geringfügiger Modificationen, erwähnt diesen Umstand nicht, und da es mir für den Augenblick an Zeit fehlt, diesen Gegenstand durch eigene weitere Versuche genügend aufzuklären, so finde ich die vorläufige Erklärung desselben in dem Umstande, dafs das berührende Wasser die Schnelligkeit der Schwingungen in eben dem Mafse hindert und langsamer macht, als seine Höhe zunimmt, weswegen dann die Töne im gleichen Verhältnisse tiefer werden müssen[1]. Aufser den 4 Schwingungsknoten können deren auch 6 oder 8, allgemein $2n + 2$ erzeugt werden, so weit der Umfang der Glocke dieses gestattet, wenn man dieselbe an

1 Ein Tieferwerden der Töne bei Glasröhren, die mit einer Flüssigkeit erfüllt vermittelst des Streichens mit einem Geigenbogen tönten, hat Savart Ann. Ch. Phys. XIV. 169. bemerkt, und zwar ist der Ton tiefer, wenn die Flüssigkeit specif. schwerer ist. Die Ursache einer allgemein bekannten Sache, nämlich dafs gefüllte Champagnergläser nicht klingen, finde ich gleichfalls nirgend erörtert, und theile daher auch hierüber dasjenige mit, was mir das Phänomen zu erklären scheint. Die hohen und langen Kelche dieser engen Gläser klingen überall schwer, insbesondere wenn sie etwas dick sind, weil die vier Schwingungsknoten einander nahe liegen und die Masse der in Schwingungen zu versetzenden Theile bis zum Boden hinab sehr grofs ist, weswegen auch diejenigen Gläser am schönsten klingen, welche einen dünnen Stiel mit geringer Dicke des Kelches und einer der Halbkugel nahe kommenden Gestalt vereinigen. Die an sich schwer klingenden Champagnergläser werden noch weniger tönend, wenn irgend eine Flüssigkeit, also nicht bloſs der moussirende Wein, die Schwingungen erschwert, sobald aber die an die Wandungen sich anlegenden Luftblasen mit tropfbaren berührenden Flüssigkeiten wechselnd die Schwingungen noch mehr erschweren, müssen sie dann gänzlich zu tönen aufhören.

Digitized by Google

einer oder einigen hierzu geeigneten Stellen leise berührt und ungefähr in der Mitte eines schwingenden Theiles streicht. Ist die Oberfläche des Wassers mit einer dünnen Lage Hexenmehl (*semen lycopodii*) bestreuet, so werden die Wellen durch die Anordnung dieser Substanz und die entstandenen Figuren noch sichtbarer.

Hiermit ist eigentlich das Verhalten tönender Glocken oder glockenförmiger Körper (der Gläser, Tassen, Töpfe u. s. w.) vollständig angegeben, und es können demnach nur noch diejenigen Umstände erörtert werden, welche dieses allgemeine Gesetz modificiren. Wird der Rand einer Glocke, wozu sich jedoch blofs gläserne (*Harmonica-Glocken*) oder porzellanene eignen, indem andere nur mit Leder oder einer sonstigen Substanz und Colophonium zum Tönen gebracht werden, mit nassen Fingern gerieben, während sie auf einer Axe befestigt umlaufen, so entstehn gleichfalls die vier Knotenlinien, und man kann sie daher gleichzeitig entweder an einer oder an mehrern Stellen reiben, jedoch blofs an solchen, wohin Knotenlinien fallen, also in 90°, 180° und 270° Abstand. Findet an einer andern Stelle eine Reibung statt, so tönt die Glocke entweder gar nicht, oder es entsteht ein anderer verschiedener Ton, sobald die Reibungen in andern, symmetrisch geordneten Knotenlinien statt finden. Die leichteste und daher auch gewöhnlichste Abtheilung durch vier Schwingungsknoten findet auch dann statt, wenn eine Glocke etwas unter ihrem Rande in der Richtung ihres Umfanges mit einem Violinbogen gestrichen oder mit nassen Fingern gerieben wird, und allezeit befindet sich an der gestrichenen Stelle dann ein Schwingungsknoten, statt dafs beim Streichen in der Richtung des Durchmessers ein Schwingungsbogen entsteht. Geschieht nämlich das Streichen in der Richtung m n, so geht die Form der Glocke abwechselnd in f p und g q über, und die Knotenlinien laufen ohne Unterbrechung stets in gleichen Abständen von einander um den ganzen Umfang der Glocke.

Fig. 134.

35) Die regelmäfsige genaue Abtheilung der Glocken durch die vier Schwingungsknotenlinien erfolgt aber blofs dann, wenn dieselben überall von gleichmäfsiger Dicke sind; widrigenfalls werden jene ungleich und es entstehn, wie dieses bei gröfsern und kleinern Scheiben, beide als gleich betrachtet, der Fall seyn würde, je nach der Stelle, wo sie angeschlagen oder ge-

Digitized by Google

strichen werden, ungleich hohe Töne. Es läfst sich dieses bei einem Glase oder einer Tasse mit einem Henkel nachweisen, indem letzterer dann entweder mitschwingt oder ruht, und hierdurch die Höhe des Tones abändert, wobei der Unterschied einen halben Ton betragen kann. Bei Harmonica-Glocken ist der Unterschied der Tonhöhe zwar geringer, aber doch so merklich, dafs dadurch ein unangenehmes Mitklingen eines nahe gleichen Tones erzeugt wird, wodurch dann die später zu erörternden Stöfse entstehn. Ebendieses findet sich bei manchen Glocken, namentlich denen auf Thürmen, wo man jedoch durch genaue Aufsuchung der Stellen, an die der Klöppel schlagen mufs, die Entstehung der unrichtigen Töne vermeiden kann. Ist eine Glocke in der Richtung ihres Umfanges geborsten, so können die Theile an beiden Seiten des Risses schwingen und die Möglichkeit eines Fortbestehns ihres Tones ist vorhanden, wenn auch derselbe minder hell ist, geht aber der Rifs nach der Länge der Glocke, so fällt die offene Stelle entweder in eine Knotenlinie oder in eine schwingende Abtheilung; im erstern Falle fehlt die erforderliche Steifheit, im letztern stofsen die offenen Theile gegen einander, die Schwingungen können nicht regelmäfsig statt finden und der Ton bleibt daher in der Regel ganz aus oder er ist in seltenen Fällen mindestens rauher, kurz man hört ein blofses Geräusch, ein Klappern, aber keinen Ton, zu dessen Entstehn die erforderlichen Bedingungen fehlen. Geht der Rifs nicht tief, so kann der Fehler verbessert werden, wenn man unter dem Risse ein Loch bohrt und bis in dieses herab ein dreieckiges Stück aussägt, wodurch aber der Ton in Folge des erweiterten Umfangs tiefer wird. Wenn hinlänglich grofse und gleichmäfsig dicke Glocken durch das bereits angegebene Verfahren vermittelst der Knotenlinien in 4, 6, 8, 10 u. s. w. Theile getheilt werden, so stehn die alsdann entstehenden Töne im Verhältnifs der Quadrate von 2, 3, 4, 5, und heifst also der tiefste Ton, welcher 4 Knotenlinien zugehört, ungestrichen c, so sind die andern $\overline{d}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{gis}}$. Zur Bestimmung der verhältnifsmäfsigen Menge der Schwingungen ähnlicher Glocken giebt Chladni in Gemäfsheit der für schwingende Stäbe aufgestellten Grundsätze an, dafs

$$N = \frac{n^2 D}{L^2} \sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

ist, worin n eine constante Zahl der Schwingungen, L den Durchmesser, D die Dicke, ϱ die Rigidität der Masse und δ die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnen (§. 15). Bei Glocken aus einerlei Materie sind also die Töne im geraden Verhältnisse der Dicke höher und im quadratischen der Durchmesser tiefer. Theoretische Untersuchungen über tönende Glocken haben L. Euler[1] und Golowin[2] angestellt, allein die erhaltenen Resultate stimmen nicht genau mit den von Chladni durch Erfahrung gefundenen überein.

Es verdient hier noch eine interessante Thatsache mitgetheilt zu werden, welche Strehlke[3] aufgefunden hat. Wenn man ein gewöhnliches cylindrisches Trinkglas befeuchtet, dann inwendig und auswendig mit feinem Sande überzieht, welcher leicht darauf haften bleibt, und mit einem Geigenbogen streicht, so entstehn inwendig vier Streifen, die mit ihren Spitzen von den breitern untern Theilen auslaufend bis an den Rand hinaufreichen. Auf der Aufsenseite entstehn gleichfalls Figuren, aber an denjenigen Stellen, die inwendig frei sind. Hierin zeigen also solche Gläser ein gleiches Verhalten, als Scheiben, die in Schwingungen versetzt werden.

B. Entstehung der Töne durch Schwingungen elastischer oder expansibler Flüssigkeiten.

36) Dafs tropfbare Flüssigkeiten zur Erzeugung des Schalles nicht geeignet sind, ist bereits oben (§. 6.) erwähnt worden; desto mehr ist dieses bei den elastischen oder expansiblen der Fall, deren Elasticität zwar nicht in einem solchen Grade der Stärke jeder Veränderung der Gestalt widersteht, als starre oder gespannte feste Körper in Folge ihrer Steifung dieses vermögen, die dagegen aber eine überwiegende Geneigtheit zur Erzeugung von Oscillationen in ihrem steten Bestreben

1 Nov. Comm. Soc. Pet. T. X. p. 261.
2 Acta Acad. Pet. Ann. 1781. T. II.
3 G. LXXX. 211.

Digitized by Google

nach Expansion besitzen und sich daher zur Erzeugung von Tönen vorzugsweise eignen. Es darf demnach mit Sicherheit angenommen werden, dafs bei weitem die Mehrzahl der Töne durch Schwingungen der Luft erzeugt werde.

Auf gleiche Weise, als durch einen einzelnen Stofs eines festen Körpers kein Ton, wohl aber ein Knall oder vielmehr ein Geräusch, erzeugt wird, ist dieses auch bei elastischen Flüssigkeiten der Fall, mit dem Unterschiede, dafs bei diesen noch leichter ein Knall, ein Getöse, zum Vorschein kommt, weil die gestofsenen Massen der Gasarten leichter fortdauernde unregelmäfsige, zum eigentlichen Tone ungenügende Wellen erzeugen, als feste Körper. Ein Knall entsteht daher, wenn die Luft schnell in einen leeren Raum stürzt, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, beim Zerplatzen einer Blase oder eines Gefäfses durch den Luftdruck, beim schnellen Zertrennen der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, beim Durchbruche eines elektrischen Funkens oder des Blitzes, jedoch geht im letztern Falle der Knall in eine Art von Ton über, wenn er von der Erde und geeigneten Gegenständen auf derselben, als Felsen, Bäumen u. dgl., oft und schnell reflectirt wird. Zur Erzeugung eines solchen Getöses ist nicht gerade das Vorhandenseyn eines absolut leeren Raumes erforderlich, sondern oft blofs der Stofs der verdichteten Gasarten gegen dünnere, wie sich deutlich beim schnellen Oeffnen eines Pennals zeigt. Aehnliche Erscheinungen kommen daher bei allen Explosionen, namentlich denen des Schiefspulvers, der Knallsalze, der detonirenden Mischungen, beim Verbrennen des Knallgases, dem Zerplatzen der Dampfkessel u. s. w. vor, wobei eine Masse verdichteter elastischer Flüssigkeiten plötzlich in dünnere Luft eindringt, meistens aber durch augenblickliche Verdichtung einen minder erfüllten Raum erzeugt, in welchen die umgebenden Luftschichten hineinstürzen.

Bei weitem in den meisten Fällen ist die atmosphärische Luft derjenige elastische Körper, welcher Töne erzeugt, und sie dient daher als Norm bei der Demonstration der hierbei herrschenden Gesetze, ebenso wie in der Pneumatik. Es wird daher der Kürze wegen bei den folgenden Untersuchungen blofs von der Luft die Rede seyn und nur später noch eine Anwendung auf einige Eigenthümlichkeiten anderweitiger gasförmiger Körper gemacht werden.

Digitized by Google

37) Ein bloſser Luftstrom, ein Flieſsen der Luft durch eine Oeffnung in den freien Raum oder in einer Röhre, erzeugt keinen Schall, und wenn gleich beim Pfeifen mit dem Munde oder andern pfeifenden Tönen, bei denen die Luft durch ein enges Loch strömt, dieses der Fall zu seyn scheint, so gewahrt man doch bei näherer Untersuchung bald, daſs hierbei noch andere Bedingungen mitwirken, denn namentlich hört das Pfeifen mit dem Munde auf, wenn man ein gläsernes oder metallenes Röhrchen zwischen die Lippen nimmt, und wenn auch hierbei, wie beim Strömen des Windes durch enge Oeffnungen, ein pfeifendes Geräusch entsteht, so ist dieses die Folge der Bebungen, worin die Ränder oder inneren Theile der Röhren und Oeffnungen versetzt werden und die sie dann der Luft mittheilen, wie dieses bei der Betrachtung der durch Luftschwingungen tönenden Instrumente näher nachgewiesen wird. Die Töne durch Luft entstehn vielmehr ganz eigentlich vermittelst der Schwingungen, worein diese Flüssigkeit geräth, und zwar sind diese longitudinale, indem weder transversale noch drehende bei der Beweglichkeit oder groſsen Flüssigkeit der Luft entstehn können. Wie bei starren Körpern bestehn diese Schwingungen in wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, die nach der Länge fortgehn und wieder zurückkehren, wodurch auch in der Luft Schwingungsknoten entstehn, deren Bildung wir uns auf gleiche Weise vorstellen müssen, als dieses bei festen Körpern §. 17. erläutert wurde.

Das Verhalten der Luft bei der Erzeugung der Schallwellen ist nach einigen frühern Bemühungen, namentlich von Sauveur[1], hauptsächlich untersucht worden durch Dan. Bernoulli[2] und L. Euler[3], deren gründliche Forschungen von allen spätern Gelehrten benutzt wurden; eine klare Uebersicht des Problems aber findet man in den Werken von Biot[4] und von den Gebrüdern Weber[5], denen ich in der hier mitzutheilenden Darstellung hauptsächlich folge.

---

1 Mém. de l'Acad. 1701.
2 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.
3 Nov. Comm. Pet. T. XVI. p. 335.
4 Traité de Phys. exper. et math. T. II. p. 110.
5 Wellenlehre S. 481.

Digitized by Google

38) Wenn man das Pfeifen mit dem Munde, den Ton kleiner Jagdpfeifen und der Mundstücke mancher Instrumente berücksichtigt, so scheint zu folgen, dafs Schallwellen von beträchtlicher Breite auch im freien und unbegrenzten Raume statt finden können, indem dieses namentlich in Beziehung auf die beträchtlich tiefen Töne beim Pfeifen mit dem Munde nothwendig anzunehmen wäre, für welche der kurze Raum zwischen den Lippen nicht genügt. Es wird jedoch in der Folge gezeigt werden, dafs einmal erzeugte Wellen allerdings im freien Raume fortgehn können, im Allgemeinen aber wird ihre Breite durch die Länge der Röhren, in denen die schwingende Luftsäule eingeschlossen ist, und deren aliquote Theile auf gleiche Weise bedingt, als dieses bei transversalen und longitudinalen Schwingungen der Stäbe statt findet. Um aber das Ganze leichter zu übersehn, mögen erst folgende allgemeine Sätze vorausgeschickt werden.

a) Wenn wir uns die durch Verdichtungen und Verdünnungen entstehenden Luftwellen denen ähnlich denken, die aus den Erhebungen und Vertiefungen der Flüssigkeiten bestehn, so giebt es auch bei jenen verdichtende und verdünnende Wellen, Wellenberge und Wellenthäler, die in ihrer Bewegung einander entgegengesetzt sind, indem die einen rückwärts sich bewegen, wenn die andern vorwärts schreiten; wo beide einander begegnen, so dafs ein Stillstand eintritt, heben sie sich auf und es entsteht ein Schwingungsknoten.

b) Die Geschwindigkeit, womit die Wellen in der nämlichen Art einer elastischen Flüssigkeit sich bewegen, ist stets sich selbst gleich, die Röhre sey weit oder enge und die Ursache ihrer Erzeugung, welche sie wolle; der Unterschied beruht also blofs auf der Breite der Wellen oder der Länge des Raumes, bis wohin die verdichtende oder die verdünnende Welle fortschreitet, bis sie umkehrt oder in die entgegengesetzte verwandelt wird, und diese Breite der Wellen als Ursache der Tonhöhe wird bedingt theils durch die Länge der Röhre uud das Verhältnifs der aliquoten Theile, worein sie sich theilen kann, theils durch die Ursache, welche die Wellen erzeugt, indem die Fortschreitung der Welle um so viel länger dauern mufs, je anhaltender die sie erzeugende Ursache auf sie einwirkt.

c) Denken wir uns die Schallwellen der Luft wie die

Digitized by Google

Wasserwellen und substituiren wir sonach den Verdichtungen und Verdünnungen von jenen die Erhöhungen und Vertiefungen von diesen, so bildet der Raum von einer Erhöhung zur andern a b oder, was einerlei ist, vom tiefsten Puncte bis wieder zur gröfsten Tiefe c d eine Wellenbreite[1]. Legt man in die tiefsten Puncte c und d eine horizontale Linie r s, so giebt diese in α und β die Stellen an, welche die in a und b befindlichen Theile bei einer abermaligen Oscillation erreichen werden, während c und d nach γ und δ gelangen. Die horizontale Linie m n giebt den mittleren Stand aller dieser Puncte an und schneidet die Wellen-Curve in den Puncten p und q, die vom höchsten und tiefsten Puncte um den vierten Theil der ganzen Wellenbreite abstehn. Hier befindet sich also der Punct der Ausgleichung, wo noch keine Wellenbewegung statt findet, und jede aus dem Zustande der Ruhe beginnende Welle mufs also im vierten Theile der ganzen Wellenlänge oder in der Hälfte zwischen dem höchsten und tiefsten Puncte anfangen. Die Gebrüder Weber haben eine sehr bequeme Bezeichnung für die Verdichtungen und Verdünnungen der Wellen, die Wellenberge und Wellenthäler in der Luft gewählt, indem sie beide durch eine linsenförmige Figur anschaulich machen, die für die erstern Querstriche enthält, für die letztern aber blofs aus einer punctirten Begrenzung besteht. Hierbei versteht sich von selbst, dafs die verdichtende Welle beim Rückgange der Oscillation zu einer verdünnenden wird. Nehmen wir daher die wechselnden Stadien der Wellen, so wird im ersten Zeittheile die verdichtende Welle von gegebener Länge den Raum von a bis b durchlaufen und beim An-

Fig. 135.

Fig. 136.

1 Der Sprachgebrauch entscheidet nicht mit Bestimmtheit, ob man Wellenbreite oder Wellenlänge sagen solle, ohne dafs jedoch hieraus Mifsverständnisse erwachsen können, da allezeit der Raum von einem Schwingungsknoten bis zum andern verstanden wird, man mag dieses die Breite oder die Länge der Schallwellen nennen. Man kann daher den einen oder den andern dieser Ausdrücke gebrauchen, sobald von Schall- oder Lichtwellen gehandelt wird. Dafs übrigens zwischen den Schwingungsknoten successiv folgende Verdichtungen und ebenso Verdünnungen der Luft statt finden, die man gleichfalls Wellen nennen und von denen man den Ausdruck Breite und Länge nach Gefallen gebrauchen kann, ohne dafs jedoch diese Gröfse noch nicht einmal annähernd, wie beim Lichte, bestimmt ist, folgt aus der Natur der Wellen von selbst.

Digitized by Google

fange des zweiten Zeittheiles von b nach c fortschreiten, während gleichzeitig die verdünnende Welle von b nach a zurückläuft, im dritten Zeittheile geht die verdichtende Welle von c bis d, während die verdünnende von c nach b zurückläuft, die im zweiten Zeitraume aber bereits in a angekommene verdünnende wieder bis b gelangt, im vierten Zeittheile schreitet die verdichtende von d bis e fort, während von d nach c und von b nach a eine verdünnende, von b nach c aber eine verdichtende läuft. Es ergiebt sich hieraus, dafs im 1sten, 3ten, 5ten..., überhaupt im $(2n-1)$ten Zeittheile die verdichtenden Wellen die nämlichen Stellen einnehmen, worin sich im 2ten, 4ten, 6ten..., überhaupt im 2nten die verdünnenden befinden, dafs ferner im dritten Zeittheile die von c nach b fortschreitende verdünnende Welle der von a nach b gekommenen begegnet, wodurch im Berührungspuncte ihre Bewegung $= 0$ werden oder ein Schwingungsknoten entstehn mufs, dafs aber die in b von c aus angekommene verdünnende Welle mit der von b nach a zurückkehrenden verdünnenden zusammenfällt und mit ihr gemeinschaftlich nach a gelangt. Das nämliche abwechselnde Verhalten würde statt finden, wenn die erste in 1 angenommene Welle ab eine verdünnende wäre. Hat man daher eine an beiden Enden offene tönende Röhre, die hiernach in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten erhält, so finden von hieraus nach beiden Seiten entgegengesetzte Schwingungen statt, die Welle ist in der einen Hälfte gleichzeitig verdünnend (rücklaufend), wenn sie in der andern verdichtend (fortschreitend) ist; man kann die eine negativ nennen, wenn die andere positiv heifst. Diesen wichtigen sogenannten *Bernoulli'schen Satz* hat Wheatstone[1] neuerdings factisch dargethan. Er bog eine bleierne Röhre von etwa 13 Z. Länge und 1 Z. Weite so kreisförmig, dafs die beiden offenen Enden einander gegenüber standen, und brachte zwischen diese eine tönende Glasscheibe, welche durch Streichen mit dem Geigenbogen die erste *Chladni'sche* Figur gab. Die hierdurch entstehenden Schwingungen wurden zwar der Luft in der Röhre mitgetheilt[2], mufsten sich aber als entgegengesetzt neutralisiren und gaben daher keine Resonanz. Die Röhre hatte aber

1 Poggendorff's Ann. XXVIII. 446.
2 Vergl. §. 82.

Digitized by Google

in ihrer Mitte ein Gewinde, vermöge dessen jedes Ende unabhängig vom andern um die Axe der Röhre gedreht werden konnte. Wurde dann die Oeffnung jedes Endes über einen entgegengesetzt schwingenden Theil der Scheibe gehalten, so hörte man sehr deutlich das Mittönen der Luftsäule.

d) Wenn die in einer Röhre sich bewegende Welle gegen eine Wand stöfst, so wird sie zurückgeworfen und behält dabei ihre Beschaffenheit ohne Aenderung, sie bleibt also eine verdichtende oder verdünnende, je nachdem sie das eine oder das andere vorher war, kommt dagegen die Welle am offenen Ende der Röhre an, so hört der durch die Wände geleistete Widerstand auf, die Welle zerfliefst also und kehrt um, jedoch mit veränderter Beschaffenheit, indem aus der verdichtenden eine verdünnende wird und umgekehrt.

e) Da die Geschwindigkeit der Wellenbewegung in gleichartigen elastischen Flüssigkeiten stets die nämliche ist, so werden um so viel mehr Wellenschwingungen in einer gegebenen Zeit erfolgen, je geringer die Wellenbreite und je kürzer also die Zeit ist, welche jede einzelne Welle zum Durchlaufen ihres Raumes bedarf, wodurch also die Höhe des Tones bedingt wird. Hierbei kommt jedoch, blofs rücksichtlich der Tonhöhe, nicht aber des Klanges, die Weite der Röhre, die Beschaffenheit derselben, ob sie gerade oder krumm ist, und die Masse, woraus sie besteht, nicht in Betrachtung. Die Geschwindigkeit der Bewegung tönender Schallwellen ist übrigens derjenigen gleich, womit der Schall durch die nämliche Gasart fortgeleitet wird, und wenn man diese daher bei mittlerer Temperatur zu etwa 1030 par. Fufs in einer Secunde annimmt, so würde für die doppelte Breite einer Schallwelle $= a$ die Zahl der Schwingungen[1] in 1 Secunde $N = \frac{1030}{a}$ seyn, wonach der jedesmal erzeugte Ton mit den durch andere schwingende Körper hervorgebrachten vergleichbar wird. Die Fortpflanzung des Schalles wird aber schneller mit der Erhöhung der Temperatur, und aus diesem Grunde stimmen alle Blasinstrumente in der Kälte tiefer, wer-

1 Eine Schwingung, so viel als ein ganzer Pulsus, ist der Hin- und Hergang von a bis b in der Zeichnung und wieder zurück, also von a bis c, weil die Welle in der nämlichen Zeit von b nach c fortschreitet, in welcher sie von b nach a wieder zurückläuft.

Digitized by Google

den dagegen höher, wenn die Temperatur steigt, was namentlich bei denen, die mit dem Munde geblasen werden, durch die Wärme der eingeblasenen Luft bewirkt wird.

39) Aeltere Versuche hatten bereits gezeigt, was auch aus den durch Biot und Hamel angestellten hervorgeht[1], dafs eine an beiden Enden offene Röhre, bei welcher an der einen Oeffnung durch irgend ein Mittel Schwingungen erzeugt werden, in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, und analog den Stäben haben solche Pfeifen dann den ihnen auf die einfachste Weise zukommenden tiefsten Ton. Diesen Fall auf die eben mitgetheilte Darstellung zurückgeführt hätte die Röhre die Länge a c und die Folge der Schwingungen wäre so, wie sie von 1 bis 4 für diese Länge gezeichnet ist. Heifst dann der Hin- nnd Hergang einer Welle eine einfache Schallschwingung und wird diese α, die Länge der Röhre l genannt, so ist $\alpha = l$ und $1'' : T = \alpha : l$. Werden in einer an beiden Enden offenen Röhre zwei Schwingungsknoten gebildet, so ist Fig. 137.

$$NN' = \alpha,\ AN = \tfrac{1}{2}\alpha \text{ und } N'B = \tfrac{1}{2}\alpha,$$

mithin ist $l = 2\alpha$ und also ist $1'' : T = 2\alpha : l$, wonach also doppelt so viele Schwingungen in einer Secunde erfolgen und die höhere Octave gehört wird. Nimmt auf diese Weise die Zahl der Schwingungsknoten zu, wobei allezeit jedes der beiden offenen Enden $= \frac{1}{2}\alpha$ ist, so wird allgemein

$$n\alpha = l \text{ und } 1'' : T = n\alpha : l,$$

wonach dann die Töne, wenn man den genannten tiefsten durch 1 bezeichnet, wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4.. — n zunehmen. Ist dagegen die Röhre oben verschlossen, so entsteht in der Mitte kein Schwingungsknoten, die Welle ist also doppelt so lang, der Ton ist eine Octave tiefer. Hiernach wäre $\alpha = 2l$, es würde also $1'' : T = \alpha : 2l$ folgen und die Reihenfolge der Töne mufste durch die geraden Zahlen 2, 4, 6.... 2n ausgedrückt werden, wie Daniel Bernoulli gethan hat; indefs ist die erste Art die gebräuchlichste und man darf dann nur annehmen, dafs bei gedeckten Pfeifen ihre Länge halb so grofs seyn mufs, wenn ein gleich hoher Ton zum Vorschein kommen soll, wodurch man beide Töne auf einander reduciren kann. Uebrigens existiren jene Töne allerdings in demjenigen Register der Orgeln, welches *Gedact* (eigentlich

1 Biot a. a. O. S. 120.

Digitized by Google

Gedeckt) genannt wird. Das weitere Verfolgen dieser Betrachtungen führt zu der Untersuchung der Töne, die durch gewisse Längen der Luftsäule entstehn, die jedoch erst dann klarer werden, wenn noch einige andere Bestimmungen vorausgegangen sind. Es möge daher hier vorläufig nur noch die Bemerkung Platz finden, dafs die Schwingungen anderer gasförmiger Körper im Allgemeinen den nämlichen Gesetzen unterliegen, die so eben in Beziehung auf die atmosphärische Luft nachgewiesen worden sind.

C. Entstehung der Töne durch Schallwellen, die durch andere Schwingungen hervorgebracht worden sind, oder über das Mittönen, die Resonanz.

39b) Es ist leicht begreiflich, dafs ein jeder der bisher betrachteten Körper aufser den den Schall erzeugenden Schwingungen noch auf vielfache andere Weise sich bewegen könne. Chladni[1] hat dieses ausführlicher nachgewiesen, als nöthig ist, und ein Verfahren angegeben, wie man unter vielen solchen möglichen Bewegungen namentlich zweierlei Arten, die den Ton erzeugenden und andere schwingende, vermittelst eines in einem Schraubstocke gespannten Stabes erzeugen könne, wodurch ähnliche Erscheinungen hervorgebracht werden, als diejenigen, welche Wheatstone vermittelst des *Kaleidophon's*[2] in gröfserer Eleganz erzeugt. Aufserdem ist bereits bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. gezeigt worden, dafs aufser den tongebenden bei diesen gleichzeitig noch secundäre existiren, und es wird sonach aus der Analogie schon wahrscheinlich, dafs ähnliche auch in den Luftsäulen statt finden können, später aber wird gezeigt werden, dafs bei diesen zuweilen zweierlei tönende Wellen neben einander vorhanden sind. Von allen diesen gleichzeitigen Schwingungen möge hier nicht die Rede seyn, sondern blofs von denen, welche in einem andern, als dem eigentlich tönenden Körper, erzeugt entweder den bereits vor-

1 Akustik S. 212.
2 S. diesen Art. Bd. V. S. 811.
3 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.

handenen Ton modificiren oder selbst zur Erzeugung eines neuen dienen. Die hierher gehörigen Erscheinungen sind so ausnehmend zahlreich, dafs ich nur die wesentlichsten Arten derselben mitzutheilen beabsichtigen kann.

40) Tönende feste Körper setzen andere, mit denen sie verbunden sind, in gleichartige Schwingungen. Es war dieses schon seit langer Zeit bekannt, indem unter andern bereits Lahire[1] das Beben eines Strebepfeilers zu Rheims beim Läuten der grofsen Glocke, Huddlestone[2] aber den gegenseitigen Einflufs der Saiten und selbst der Orgelpfeifen auf einander nachwies, und man entdeckte daher hierin die richtige Ursache der *Resonanz*. Die zahlreichen musikalischen Instrumente mit Saiten oder Stäben haben daher insgesammt oder mindestens die vorzüglichern ohne Ausnahme einen eigenen Resonanzboden, bei dessen Baue es vorzüglich darauf ankommt, durch hinlänglich trocknes und feinfaseriges, möglichst elastisches Holz, durch die erforderliche Gröfse und Dünne für alle Saiten ein dem Ohre angenehmes Mitklingen zu erzeugen. Chladni[3] giebt an, dafs nicht blofs eine Stimmgabel, deren Ton zuletzt unhörbar wird, wieder sehr vernehmlich zu klingen anfängt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stemmt, sondern dafs man auf letzterem sogar die einzelnen Stellen auffinden kann, wo sie auf einem Schwingungsbogen stehend vernehmlicher klingt, als auf einem Schwingungsknoten. Ein auffallender Beweis des bedeutenden Einflusses der mitklingenden Körper liegt in dem bedeutenden Unterschiede des Tones einer und derselben Stimmgabel, je nachdem sie auf einen festen Stein, ein massives Stück Holz, einen Resonanzboden, eine Eisenplatte, eine Glasscheibe u. s. w. gestützt wird. Maupertuis[4] meinte, damit ein Resonanzboden alle Töne verstärken könne, müsse er aus ungleich langen Fibern bestehn, damit jederzeit eine für den eigenthümlichen Ton geeignete in Schwingungen gesetzt würde, allein dieser Irrthum ist einem andern bereits gerügten[5] gleich, wo-

1 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.
2 Nicholson's Journ. T. I. S. 329.
3 Akustik S. 269.
4 Mém. de l'Acad. de Par. 1724.
5 Art. *Gehör*. Bd. IV. S. 1208.

Digitized by Google

nach auch die Fibern des Paukenfelles im Ohre vermöge ihrer ungleichen Länge jeden einzelnen Ton verstärken sollen; man weifs jetzt vielmehr, wie leicht alle Körper, so ungleich auch die durch ihre eigenen Schwingungen erzeugten Töne seyn mögen, durch Mittheilung in solche Schwingungen versetzt werden, die den bereits vorhandenen Ton verstärken. Von der gröfsern Vollkommenheit dieser Resonanz leitete man auch den Unterschied des Tones der Instrumente ab. Biot[1] sagt, der schöne Klang der alten italienischen Instrumente von Amati, Guarnerius (Stratuari) u. a. beruhe auf der Resonanz, die durch das hinlänglich trockne Holz erzeugt wird, welcher bleibt, wenn ein solches auch noch so oft auseinander genommen wird, statt dafs ein neues stets einen minder wohlklingenden Ton behält, wie genau dasselbe auch jenem nachgebildet seyn mag; allein ebenso altes und hinlänglich trocknes Holz ist allerdings wohl vorhanden, auch werden jetzt noch Instrumente verfertigt, die jenen alten mindestens sehr nahe kommen. Der Grund jener Vorzüge liegt aber noch tiefer.

Seit 1819 hat Felix Savart durch eine Reihe interessanter Versuche[2] die Gesetze des Verhaltens solcher Körper aufgefunden, deren einer mit einem andern bereits schwingenden in genauer Verbindung steht. Unter andern spannte er eine etwas starke Violinsaite auf ein dickes Bret über einen gewöhnlichen Geigensteg, dessen Füfse jedoch nicht auf dem Brete, sondern auf einer Bleiplatte ruhten, welche selbst unter diesen Füfsen durch zwei Stücke Holz oder Kork unterstützt war, und er erhielt dann beim Streichen der Saite auf der Bleischeibe Chladni'sche Klangfiguren, zum auffallenden Beweise, dafs selbst dieses so wenig elastische Metall durch die Vibrationen der Saite gleichfalls in Schwingungen versetzt wurde. Gab die Saite einen veränderten Ton, so kam auch eine andere Figur zum Vorschein. Hieraus folgte also unmittelbar, dafs auch der Steg, die Unterlagen der Platte und das Bret gleichzeitig mit der Saite schwingen mufsten, und dafs

1 Traité T. II. p. 184.

2 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 225. G. LXVIII. 113. Vergl. Sim. Stratico über die Verschiedenheit gleich hoher Töne in Mem. dell Imp. Re. Instit. del Regno Lomb. T. II. p. 171.

Digitized by Google

zwar die Höhe des Tones zunächst nur durch die Schwingungsmengen der letzteren, die Art des Tones aber oder dasjenige, was oben *Klang* genannt ist, durch die Summe der Schwingungen aller mit ihr verbundenen Theile bedingt werde. Es ist demnach nicht weiter zweifelhaft, dafs hierin die Ursachen der Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Töne zu suchen sind, insofern zwar die nämlichen Töne eines Hornes, einer Flöte, einer Geige u. s. w. eine gleiche Höhe, zugleich aber einen so verschiedenen Klang haben, dafs selbst ungeübte Ohren leichter ihre Unterschiede als geringe Abweichungen der Höhe wahrzunehmen vermögen. Dabei sind zwar diejenigen Schwingungen, in welche die mit dem eigentlich tönenden Körper verbundenen Substanzen versetzt werden, die ich mittelbar zur Unterscheidung von jenen unmittelbaren nennen werde, denen des eigentlich tongebenden analog; allein es ist doch dabei keinen Augenblick zu verkennen, dafs sie gleichzeitig durch die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Körper bedingt werden müssen uud also, obgleich für sich selbst nicht als tongebend wahrnehmbar, doch den erzeugten Ton zu modificiren vermögen. Savart verfertigte sich ferner zwei ganz gleiche Scheiben von der nämlichen Holzart, befestigte sie an den zwei Enden eines Stabes, strich die obere horizontal gehaltene und fand, dafs auf der untern dann die nämliche Figur als auf der obern zum Vorschein kam, ja es zeigte sich dieses Phänomen auf gleiche Weise auch dann, wenn mehrere solche Scheiben durch wechselnde verticale Stäbe verbunden waren; alle horizontale Scheiben zeigten die nämliche Figur, wenn eine derselben am Rande gestrichen wurde. Eine Anwendung hiervon auf den sogenannten Stimmstock in den Bogeninstrumenten ist leicht zu machen, auch begreift man den Grund, warum die Stelle desselben auf den Ton einen so bedeutenden Einfluſs hat. Schon hieraus wurde es wahrscheinlich, dafs die in dem Stabe erzeugten Wellen longitudinale seyn mufsten, was durch spätere Versuche bestätigt worden ist. Bei der Prüfung der angegebenen Erscheinungen zeigte Le Blanc, dafs eine Glasröhre, vertical auf eine Scheibe gekittet und in longitudinale Schwingungen versetzt, auf der Scheibe Figuren erzeugt, welche eben so rein und bestimmt sind, als diejenigen, die unmittelbar durch das Streichen ihres Randes hervorgebracht werden. Auch diese Erscheinungen sind später durch Savart in ihrem gan-

Digitized by Google

zen Umfange untersucht worden, interessant aber ist die Folgerung, welche sogleich aus der ersten Auffindung derselben entnommen wurde, nämlich dafs man auf diese Weise Stäbe an den geeigneten Stellen der Harmonicaglocken befestigen und letztere dadurch zum Tönen bringen könne, ohne sie mühsam durch Abschleifen gleichmäfsig dick zu machen, um die Ungleichheiten des Tones zu beseitigen, die in Folge ungleichmäfsiger Dicke durch das Reiben ihres Randes beim Umdrehn um ihre Axe entstehn (§. 35.), woran sich die Idee reihte, dafs das geheim gehaltene *Euphon* von Chladni muthmafslich auf diesem nämlichen Principe beruhe. Nach den hierdurch aufgefundenen akustischen Grundsätzen verfertigte Savart selbst eine Geige, bei welcher alle Theile den theoretischen Bestimmungen der vollkommensten Consonanz gemäfs eingerichtet waren, und zwar mit geradem Deckel und Boden, weil die gekrümmten ein vielfaches verschiedenartiges Durchschneiden der Fibern zur Folge haben, desgleichen mit geraden Oeffnungen, statt der gekrümmten F Löcher. Nach dem Berichte der Commission, welche diese Geige durch Lefebvre, den Musikdirector des Theaters Feydeau, mit einer gewöhnlichen vorzüglichen vergleichen liefs, war dieselbe in der Nähe minder stark, was Savart von dem rauschenden Mittönen der gekrümmten Flächen ableitete, welches nur in der Nähe hörbar sey, in gröfserer Entfernung aber war ihr Ton ebenso stark und selbst noch wohlklingender[1].

41) Savart[2] hat diese Untersuchungen noch weiter ausgedehnt und als allgemeines Gesetz aufgefunden, dafs, wenn verbundene feste Körper auf einander lothrecht stehn, die longitudinalen Schwingungen des einen transversale im andern erzeugen und umgekehrt. Unter den verschiedenen Apparaten, wodurch sich dieses anschaulich machen läfst, besteht der Fig. 138. eine aus einer dicken hölzernen Regel B, auf welche ein Becher A′ am einen Ende festgekittet oder fest eingesteckt ist. Auf dem Rande desselben wird der schmale Glasstreifen A

1 Mit dieser Beobachtung stimmt die Erfahrung genau überein, dafs die vorzüglichen Geigen oft in der Nähe bei weitem keinen so angenehmen und starken Ton zeigen, als in gröfserer Entfernung.

2 Ann. Chim. Phys. T. XIV. p. 113. Daraus in Gilb. LXVIII. 113.

Digitized by Google

festgekittet, welcher mit dem andern Ende auf dem beweglichen Stege C ruht. Streicht man den Becher der Verbindungsstelle gegenüber mit einem Bogen, so versetzt er durch seine Transversalschwingungen den Streifen in longitudinale, die durch aufgestreueten Sand sichtbar werden und dadurch an Interesse gewinnen, dafs man durch eingegossenes Wasser den Ton des Bechers willkürlich tiefer machen kann. Von den verschiedenartigen tönenden Körpern, die sich auf mannigfaltige Weise zur Erzeugung gleichzeitig bedingter Wellen verbinden lassen, sind längliche Scheiben am meisten geeignet und daher auch von Savart am vollständigsten untersucht worden, insbesondere um den Uebergang der longitudinalen Schwingungen in transversale und umgekehrt aufzufinden. Einen einfachen, hierzu geeigneten Apparat bildet die hölzerne Regel B mit den beiden darin eingelassenen Glasstreifen C und C′ und dem längern hierauf ruhenden Glasstreifen A und noch einem auf diesem vertical festgekitteten Glasstreifen A′. Wird dieser Apparat so gehalten, dafs A′ eine horizontale Lage hat, und mit Sand bestreuet, so entstehn beim Streichen mit dem Bogen am Rande des Streifens A auf jenem die den Longitudinalschwingungen zugehörigen Knotenlinien, deren Lage die entgegengesetzte wird, wenn man den ganzen Apparat umkehrt. Wird dagegen der Streifen A in eine horizontale Lage gebracht und A′ mit einem wollenen Läppchen gestrichen, so hört man den vorigen Ton und auf A entstehn die Knotenlinien der transversalen Schwingungen. Hierbei wäre unbegreiflich, wie der verhältnifsmäfsig so kurze Streifen A′ durch longitudinale Schwingungen einen so tiefen Ton erzeugen könne, als A durch transversale, wenn man nicht annehmen wollte, dafs die erstern durch die stärkern letztern bedingt würden. Dieses wird dadurch bestätigt, dafs man den Streifen A′ verlängern kann, bis er longitudinal schwingend den nämlichen Ton giebt, als A durch transversale Schwingungen, und ersterer dann die nämliche Figur zeigt, wenn er für sich oder durch die Transversalschwingungen von A in longitudinale Schwingungen versetzt wird. Offenbar müssen also beide Streifen in solche sich gegenseitig bedingende Schwingungen versetzt werden, als die Zeichnung zu gröfserer Deutlichkeit darstellt.

Fig. 139.

Fig. 140.

Das nämliche Verhalten zeigt folgender Versuch. Man

Digitized by Google

Fig. 141. suche auf dem 25 Zoll langen Streifen A den zweiten Längenton, bemerke die Figur, die sich dabei bildet, kitte ihn in den aufgefundenen Knotenlinien auf die verticalen Streifen A′ und A″, bestreue ihn mit Sand und bringe ihn durch Reiben mit einem Tuchlappen in longitudinale Schwingungen, so entsteht ein tieferer Ton mit weiter von einander abstehenden Knotenlinien, und zwar der nämliche, den die verticalen Scheiben A′, A″ mit einem Bogen gestrichen geben. Vertauscht man die Streifen A′, A″ mit längeren, so wird der Ton tiefer und der Streifen A vertritt also hier die Stelle des Bogens. Dafs letzteres der Fall sey, ersieht man aus einem Versuche von Le Blanc. Dieser kittete eine Röhre oder einen schmalen Glasstreifen fast horizontal auf den Rand eines mit seinem Fufse befestigten Weinglases, rieb das eine Ende desselben mit einem wollenen Läppchen und erhielt den Ton des Glases sehr wohlklingend, auch tiefer, wenn in dasselbe Wasser gegossen war. Ebendieses Resultat geht unverkennbar hervor, wenn man eine etliche Fufs lange und dünne Glasröhre lothrecht auf die Mitte einer beliebig gestalteten Scheibe von 1 bis 3 und mehr Zoll Durchmesser aufkittet und die Röhre entweder durch Reiben mit einem nassen Läppchen oder durch Querstriche mit einem Violinbogen in longitudinale oder transversale Schwingungen versetzt, indem dann die Scheibe jederzeit die entgegengesetzten Schwingungen durch die Figuren des aufgestreuten Sandes kenntlich macht. Savart scheint hierbei vorauszusetzen, dafs jederzeit die transversalen Schwingungen den Ton bedingen, allein bei längeren Röhren und kleineren Scheiben ist dieses sicher nicht der Fall, denn wenn man die Stellen wechselt, wo die Röhre zwischen den Fingern gehalten wird, so ändert sich diesem gemäfs auch der Ton und gleichzeitig die Figur auf der Scheibe. Auffallend bei diesem Versuche ist, dafs durch dieses Mittel auch die am wenigsten elastischen Körper zum Schwingen gebracht werden; denn ich habe nicht blofs Scheiben von Glas, Holz und den härteren Metallen, sondern selbst auch von Blei auf diese Weise zur Erzeugung von Figuren benutzt, die ebenso regelmäfsig und scharf begrenzt sind, als die Chladni'schen auf Glasscheiben; blofs mit dünnen Scheiben von Tabaksblei und Kartenpapier war es mir nicht möglich. Stemmt man eine Glasröhre vertical auf einen Resonanzboden und

Digitized by Google

bringt man sie zum Tönen, so erzeugt sie die ausgedehntesten und vielfachsten Figuren auf dem Resonanzboden. Man kann auch zwei Scheiben an beiden Enden eines Glasstabes rechtwinklig aufkitten und den Stab in Schwingungen versetzen, um auf beiden Scheiben Figuren zu erhalten, ja Savart versichert, sogar mehrere 12 bis 15 Zoll lange und 1 bis 1,25 Z. breite Streifen (statt deren man auch Scheiben wählen kann) mit kürzeren Scheiben so verbunden zu haben, wie die Zeichnung darstellt. Dieses ganze System ruht entweder blofs auf dem längern und breitern Streifen M, oder vermittelst dessen und der lothrechten Stützen auf dem Brete B. Wird dann der Streifen M durch Reiben in longitudinale Schwingungen versetzt, so gerathen alle lothrechte Streifen A in transversale Schwingungen, alle horizontale B in longitudinale, oder umgekehrt, wenn M ursprünglich transversale erhält. Im ersten Falle haben die Sandfiguren auf dem ersten, dritten, fünften .... Streifen die nämliche Anordnung n n, n n ...., auf dem zweiten, vierten, sechsten die entgegengesetzte N N, N N ...., und sind verschieden, je nachdem der Ton von M höher oder tiefer ist. Dafs es übrigens Bedingungen geben könne, unter denen zwei rechtwinklig verbundene Streifen beide in transversale Schwingungen gerathen, ist wohl nicht gut in Abrede zu stellen. Fig. 142.

Als geschichtliche Notiz mag hier noch erwähnt werden, dafs Savart bei der Bekanntmachung dieser Versuche wiederholt bemerkte, diese Reihe von Erscheinungen habe Chladni nicht gekannt; letzterer erwies jedoch genügend[1], dafs er sie vollkommen gekannt habe, denn eben hierauf beruhte die Construction seines *Euphons*, welches er anfangs geheim zu halten für gut fand.

42) Auf gleiche Weise, als feste Körper in anderen festen, mit ihnen verbundenen Körpern jeder Art Schwingungen erzeugen, welche die eigenthümliche Beschaffenheit der Töne oder das, was wir genau bezeichnend Klang nennen, bedingen, setzen sie auch die *Luft* in Vibrationen, die theils zu ihrer Verstärkung, theils zur Modificirung ihres Klanges dienen. Um dieses recht auffallend wahrzunehmen, darf man nur eine Stimmgabel anwenden, die, wie oben erwähnt wurde,

1 Ann. Ch. Phys. XX. 74. G. LXVIII. 160.

Digitized by Google

an Stärke des Tones so bedeutend zunimmt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stützt. Wenn diese, in Schwingungen versetzt und an ihrem Stiele in der Hand gehalten, gar nicht gehört wird, so nimmt man den Ton sogleich wahr, sobald man ihre eine Zinke horizontal über die Oeffnung eines Medicinglases hält, und man gewahrt bald, dafs die im Glase eingeschlossene, mittönende Luft die Verstärkung des Schalles bewirkt. Zu mehrerer Ueberzeugung darf man nur so lange Wasser in das Glas giefsen, bis beim geeigneten Blasen in die Oeffnung der nämliche Ton zum Vorschein kommt, den die Stimmgabel giebt, und dann den Versuch wiederholen, so wird die Verstärkung noch auffallender. In diesem Falle ist also zwar die Stimmgabel der den Ton erzeugende Körper, der gehörte Ton aber ist eine Folge der Luftschwingungen im Glase.

Handelt es sich zuerst blofs um das Mittönen oder die Verstärkung und Modificirung der aus den Schwingungen fester Körper entstandenen Töne durch die gleichzeitigen, eben hierzurch erzeugten Schwingungen der Luft, so giebt es aufser der bereits erwähnten noch eine Menge sonstiger Erscheinungen. Insbesondere darf angenommen werden, dafs die in sphäroidisch gestalteten Räumen eingeschlossene Luft ausnehmend leicht in Schwingungen versetzt wird und auf den Klang von sehr bedeutendem Einflusse ist. Bei den Schwingungen einer Glocke wird die in ihrem Innern eingeschlossene Luft zum Mittönen gebracht; die Glocke trägt, wie Weber[1] sagt, ihren Resonanzboden in sich und tönt daher um so viel stärker als eine Scheibe. Biot[2] erzählt auf die Aussage von J. J. Rousseau, dafs in den Theatern Italiens der Fufsboden des Orchesters in möglichst wenigen Puncten mit dem Gebäude verbunden ist und auf leichten Rahmen ruht; unter ihm aber ist ein hohler, nach vorn offener Raum, welcher nach seinem Ausdrucke wie ein grofses Sprachrohr die Töne, durch gleichzeitiges Mitklingen mit den Instrumenten erregt, zusammt diesen in das Theater sendet, genauer genommen aber wirkt der Boden wie ein Resonanzboden. Mit Uebergehung anderer Fälle, bei denen nicht blofs durch feste Körper, sondern auch

1 Wellenlehre S. 546.
2 Traité T. II. p. 186.

durch Luftschwingungen gasförmige Körper zum Mittönen gebracht werden, erwähne ich zunächst ein hierauf direct beruhendes Instrument, *Gender* genannt, welches Stamford Raffler aus Ostindien mitgebracht hat. Dieses besteht nach Wheatstone[1] aus 11 Metallplatten, die in den am leichtesten entstehenden Schwingungsknoten in jedem mit 2 Löchern durchbohrt und an zwei durch diese gezogenen Fäden horizontal aufgehangen sind. Unter jedem steht ein verticales Bambusrohr, welches mit einem Deckel verschlossen oder geöffnet werden kann. Die in letzterem eingeschlossene Luftsäule ist für den Ton der über ihm hängenden Platte gestimmt, und werden dann diese mit einem kleinen Klöppel geschlagen, so hört man bei bedeckten Rohren einen nur schwachen und rauhen Ton, bei geöffneten aber einen sehr wohlklingenden, welcher von der schwingenden Luftsäule herrührt. Das Instrument hat 11 Töne, welche die sogenannten ganzen Töne unserer Tonleiter mit Ausnahme des 4ten und 7ten geben und sonach also zwei Octaven umfassen. Wheatstone hat bei Gelegenheit der Prüfung dieses Instruments noch andere interessante Untersuchungen über mittönende Luftsäulen angestellt und vermittelst einer Stimmgabel, die er über dem Mundloche einer Flöte schwingen liefs, aufgefunden, dafs der Ton bedeutend mehr verstärkt wird, wenn der elastische Körper und die Luftsäule gleichmäfsig stimmen. Aehnliche Versuche mit der Maultrommel und Röhren mit schwingenden Luftsäulen erwähne ich hier nur beiläufig. Fig. 143.

Bei weitem am wichtigsten sind diejenigen Luftschwingungen, welche durch die Schwingungen elastischer Häute, Blätter, Bleche u. s. w. erzeugt den wahrgenommenen Ton hervorbringen. Dahin mufs ich aus bereits erwähnten Gründen das Pfeifen mit dem Munde, die durch die Bänder im Kehlkopfe erzeugte Stimme der Menschen und Thiere und mit Uebergehung einzelner minder bedeutender die Töne der sämmtlichen Rohrinstrumente rechnen. Beim Pfeifen mit dem Munde, wo keine Luftsäule vorhanden ist, die vermöge ihrer Länge so tiefe Töne hervorbringen könnte, setzt der ausgestofsene oder eingezogene Luftstrom die Häute der Lippen in

1 Quarterly Journ. of Science. New Ser. N. V. p. 175. Daraus in Schweigg. Journ. LIII. 329.

Digitized by Google

Schwingungen, selbst auch die Zähne, wenn das eigenthümlich scharf klingende Pfeifen durch diese geschieht, wobei zwar diese Vibrationen nicht selbst, wohl aber die gleichzeitig erregten der Luftsäule, welche die bebenden Körper berührt, den vernehmbaren Ton geben. Die menschliche Stimme beruht auf den Schwingungen der Bänder der Stimmritze nicht unmittelbar, wohl aber mittelbar, indem durch diese die angrenzende Luftsäule in Schwingungen geräth, und eine gleiche Bewandtnifs hat es mit allen vibrirenden Blättern der Hoboen, Clarinetten, Fagotte und der gesammten Rohrwerkzeuge. Da es erforderlich seyn wird, der Untersuchung aller durch Luftschwingungen tönender Instrumente noch einen besondern Abschnitt zu widmen, so verweise ich darauf rücksichtlich des Einzelnen.

43) Umgekehrt zeigen sich sehr häufig auch Schwingungen *fester elastischer Körper*, die durch ursprüngliche der Luft erzeugt werden, so unglaublich es auch auf den ersten Blick scheinen mag, dafs ein so dünnes, durch ausnehmende Flüssigkeit so sehr sich auszeichnendes Medium, ohne eigentliche fortschreitende Bewegung, starre Körper in so schnelle Vibrationen zu versetzen im Stande seyn soll. Inzwischen zeigt ein allgemein bekanntes Phänomen, nämlich das rollende Getöse des Donners, welches auf der See und hohen Bergspitzen meistens wegfällt, dafs selbst aus grofser Ferne kommende Luftschwingungen massive Gebäude beben machen, indem man dabei ein Zittern der Thüren und ein Klirren der Fenster wahrnimmt. Als bekannt darf ich gleichfalls das Beben der verschiedensten festen Körper, sogar massiver Mauern in den Kirchen, beim Tönen der tiefsten Pfeifen grofser Orgeln voraussetzen; allein es ist nicht nothwendig, diese seltener sich zeigenden Phänomene abzuwarten, um die Frage zu beantworten, ob es wirklich Luftschwingungen sind, welche feste Körper in Vibrationen versetzen, indem ein leichter Versuch hierzu genügt. Wenn man eine Membrane, z. B. die oben §. 23. beschriebenen sehr dünnen von elastischem Gummi, besser eine Thierblase oder ein Blatt Papier über einem Ringe oder hohlen Cylinder ausspannt, mit Sand bestreuet und über demselben einen etwas starken Ton vermittelst eines Blaseinstruments erzeugt, so gewahrt man nicht blofs das Hüpfen des Sandes, sondern es kommt auch eine sehr kenntliche

Digitized by Google

Klangfigur zum Vorschein. Am besten und leichtesten geräth dieser Versuch, wenn man den Ton mit dem bloſsen Rohre eines Fagottes oder hauptsächlich einer Clarinette dicht über der Membrane erzeugt, welcher scharf und gellend ist und den schwingenden Theilen sehr nahe gebracht werden kann; auch läſst sich der Einwurf leicht beseitigen, als ob das Hüpfen des Sandes durch den Luftstrom des kleinen tönenden Werkzeuges verursacht werde, wenn man in geringem Abstande unter der Oeffnung ein Stück Papier hält oder diese Oeffnung nicht über die Membrane selbst, sondern nur neben dem hohlen Cylinder münden läſst, über welchem die Membrane ausgespannt ist. Savart[1] hat durch genauere Untersuchung aufgefunden, daſs solche Schwingungen in einem zweiten Körper durch die zwischenliegende Luft am leichtesten dann erzeugt werden, wenn beide der Zahl nach in einem rationalen Verhältnisse zu einander stehn. Er bediente sich zu seinen Versuchen der Glasscheiben, versetzte diese durch Streichen mit einem Violinbogen in transversale Schwingungen und fand, daſs die auf den ausgespannten Membranen erzeugten Klangfiguren sich änderten, wenn die über ihnen gehaltenen Glasscheiben eine horizontale oder geneigte Lage hatten. Die erzeugten Figuren sind den Chladni'schen vollkommen ähnlich, sollen sogar auch durch die menschliche Stimme zum Vorschein kommen und lassen sich vorzüglich schön auch durch aufgestreuetes Lycopodiumpulver sichtbar machen. Dabei ist es gleichgültig, ob die in der Luft fortgehenden Schallwellen, die dann feste Körper in mittelbare Schwingungen versetzen, ursprünglich in der Luft, wie beim Donner, oder durch die Vibrationen fester Körper erzeugt worden sind. Einen leichten Beweis der Thatsache erhält man durch den interessanten Versuch, wenn man zwei Saiten auf verschiedenen Instrumenten völlig unison stimmt oder überhaupt zwei tönende Körper, wovon der eine aber eine transversal schwingende Saite seyn muſs, genau gleich stimmt, über die Saite einen schmalen, etwas gebogenen Streifen Papier hängt und in beliebiger Entfernung den gleichen Ton erzeugt, worauf dann der Streifen herabgeworfen wird. Sind die Töne nicht unison, so fällt der Streifen nicht herab, weil zwar die Saite dann gleichfalls

1 Ann. Chim. Phys. XXVI. 6.

erbebt, aber nicht hinlänglich stark, indem die ungleichzeitigen Schwingungen von ihr selbst und die der Luft einander stören. Wheatstone[1] macht die auf solche Weise erzeugten Wellen dadurch sichtbar, dafs er die Oeffnung eines Blaseinstruments etwas unter Wasser taucht, auf welchem diese dann zum Vorschein kommen, wobei jedoch der Einwurf sich nicht ganz beseitigen läfst, dafs sie durch den mechanischen Impuls des Luftstromes oder durch das Beben des Instruments erzeugt seyn könnten. Ungleich interessanter und zugleich für die Theorie sehr wichtig ist dagegen das durch Savart[2] aufgefundene Verfahren, nicht blofs diese mittelbar erzeugten Schwingungen, sondern zugleich auch die Existenz der Schwingungsknoten in tönenden Luftsäulen sichtbar zu machen. Zu diesem Ende verfertigt man Ringe von sehr dünnem Fischbein oder einer sonstigen geeigneten Substanz, spannt über diese eine zarte Membrane, wozu das sogenannte Strohpapier (*papier végétal*), Goldschlägerhaut oder die Amniumhäutchen der kleinen Montgolfièren am meisten geeignet sind, vermuthlich auch sehr dünne Membranen von elastischem Gummi, läfst diesen Apparat an einem Faden, welcher unten in drei am Ringe befestigte Fäden ausläuft, so herabhängen, dafs die gebildete Fläche horizontal ist, bestreuet sie mit Sande und senkt sie in einer vertical stehenden, tönenden gläsernen Röhre herab, so hüpft der Sand an allen Stellen der Luftsäule, wo diese schwingt, und ruht in den Schwingungsknoten. Hierbei erhält man also theils solche Schallfiguren transversaler Schwingungen, die durch die longitudinalen der Luftsäule in der Röhre erzeugt werden, theils kommen die letztern, die man an sich nicht wahrzunehmen vermag, hierdurch deutlich zum Vorschein. W. Hopkins[3] hat diese Versuche mit gleichem Erfolge wiederholt.

Hier verdient ein Phänomen angegeben zu werden, welches zwar nicht unmöglich ist, aber wegen seiner geringen Wahrscheinlichkeit um so mehr an historischem Interesse ge-

---

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 316.

2 Ann. Chim. Phys. XXVI. 5. Vergl. T. XXXII. Was Savart an dieser letztern Stelle gegen Chladni folgert, ist durch W. Weber hinlänglich widerlegt worden. S. Schweigger's Journ. L. 176.

3 London and Edinburg Phil. Mag. N. XV. p. 225.

Digitized by Google

winnt. Es herrscht nämlich die Sage, man könne Gläser durch einen starken, in ihren Kelch gerichteten Schrei zersprengen. Morhof[1] und Bartoli[2] erzählen dieses als Thatsache, und Chladni[3] versichert, von einem glaubwürdigen Manne als Augenzeugen das Nämliche gehört zu haben. Auch mir erzählte der bekannte göttingische Philosoph Feder, dessen Glaubwürdigkeit wohl niemand in Zweifel ziehn wird, dafs er als Schüler einem Manne zugesehn habe, welcher in einem Wirthshause dieses Kunstsück gegen Eintrittsgeld zeigte, indem er mehrere Gläser vor sich auf einen Tisch stellte, ihren Ton durch Anschlagen mit einem Schlüsselchen aufsuchte und dann ebendiesen kurz und möglichst scharf hineinschrie, worauf dasselbe ohne weitere sonstige Veranlassung zersprang. Durch den Ton einer Trompete soll diese Wirkung nicht hervorgebracht werden, wohl aber nach Bartoli durch den einer Violinsaite, und dabei versteht sich von selbst, dafs dünne und sehr hell klingende Gläser am meisten dazu geeignet sind. Chladni scheint die Sache in Zweifel zu ziehn und ich theile seine Ansicht, weil ein Glas zwar durch eine solche Ursache allerdings zum Tönen gebracht wird, aber keineswegs so stark, als durch Anschlagen oder Streichen mit einem Bogen; dagegen meint er, der Erfolg würde statt finden, wenn das Glas vorher etwa mit einem Diamant einen feinen, bei gewöhnlicher Betrachtung nicht auffallenden Rifs erhalten hätte, denn eine Glasscheibe zerspringe nie beim Tönen durch einen Bogenstrich, aufser wenn sie schon einen feinen Rifs habe. Merkwürdig ist hierbei die Thatsache, dafs schon im Talmud[4] unverkennbar auf dieses Phänomen hingedeutet wird, indem daselbst die Meinungen der Rabbinen angeführt werden, wie es mit dem Schadenersatze zu halten sey, wenn das Ge-

---

1 Stentor hyaloclastes, sive de scypho vitreo per vocis humanae sonum rupto. Kil. 1683. 4.

2 Trattato del suono e de' tremori armonici. Bologna 1680.

3 Akustik S. 271.

4 Baba Kama. Fol. 18. col. 2. Die interessanten Worte heifsen: Tradit Rame, fil. Iecheskel, gallus gallinaceus, qui extendit caput suum in vacuum vasis vitrei, clanxeritque in eo, ut frangatur, persolvitur damnum integrum. Et dixit Raf Joseph: verba familiae Magistri: equus qui hinnit et asinus qui rudit et fregit vasa, persolvit (dominus) dimidium damnum. S. Chladni neue Beiträge S. 87.

Digitized by Google

schrei eines Hahns oder eines Esels oder eines Pferdes ein Glas zersprengt habe.

44) Es kann nach den bisher mitgetheilten Thatsachen nicht wohl zweifelhaft seyn, dafs durch Luftschwingungen auch andere Luftmassen in Schwingungen versetzt werden müssen, und es läfst sich also als Folgerung der allgemeine Satz aufstellen, dafs alle Schallwellen, sie mögen durch feste oder flüssige Körper erzeugt worden seyn, bei unmittelbarer Verbindung mit andern gleichfalls festen oder elastisch flüssigen Körpern oder bei vorausgegangener Fortpflanzung durch dieselben in dieser mittelbare Schwingungen erzeugen, die entweder für sich hörbar sind und als solche den eigentlichen Ton geben, oder nicht selbst vernehmbar den Klang der Töne bedingen. Hierbei findet noch aufserdem das allgemeine Gesetz statt, dafs die mittelbaren Schwingungen mit den ursprünglichen in einem gewissen rationalen Zusammenhange stehn, indem sie an Menge einander gleich sind oder die leichtesten Verhältnisse 5:4, 3:2 und 2:1 bilden. Diesemnach wird der Ton im Allgemeinen verstärkt, indem gleich viele Schwingungen in der nämlichen Zeit am leichtesten erzeugt werden, weswegen der Ton einer Stimmgabel über jedem offenen Medicinglase an Stärke zunimmt, welchen eigenthümlichen Ton auch die darin enthaltene Luftmasse für sich haben mag, die Saiten auf einem Instrumente aber erzeugen leicht das Mittönen der harmonischen Dreiklanges und auf gleiche Weise hört man auch bei der Aeolsharfe nach dem ersten entstandenen Tone bald die Terze, Quinte, Octave und so fort bis zur Doppeloctave.

Man begreift leicht, dafs die Menge der Erscheinungen, die aus diesem allgemeinen Gesetze folgen, sehr grofs seyn mufs, und ich will daher nur einige der vorzüglichsten namhaft machen. Vor allen Dingen werden in gewölbten Räumen eingeschlossene Luftmassen leicht in mittelbare Schwingungen versetzt, durch welche der an sich unhörbare Schall vernehmbar wird. Hieraus erklärt sich das summende Getöse, eine Art von Brausen, in manchen Muscheln, wenn man ihre Oeffnung an das Ohr hält. Nach den Versuchen der Gebrüder Weber[1] geben Röhren, wenn man sie gegen das Ohr hält,

1 Wellenlehre u. s. w. S. 521.

durch das gewöhnliche am Tage herrschende Geräusch einen schwachen, aber doch hörbaren Ton, welcher der Länge der in ihnen enthaltenen Luftsäule zukommt. Sehr sinnreich aber haben die Römer bei ihren erstaunlich grofsen und noch obendrein oben offenen Theatern den Schall, welcher sonst aus so grofser Entfernung gar nicht wahrnehmbar gewesen wäre, dadurch verstärkt, dafs sie Einschnitte unter den Sitzen anbrachten und Gefäfse auf keilförmige Unterlagen gestützt hineinsetzten, um die in diesen enthaltene Luftsäule zum Mittönen zu bringen. Vitruv[1] erzählt dieses von einigen Theatern in Italien und auch in Griechenland, namentlich zu Korinth, von woher Mummius diese ehernen Gefäfse nach Rom brachte, auch giebt er weitläuftig an, wie dieselbe für die verschiedenen Töne abgestimmt und zur besten Verstärkung des Schalles nach der Gröfse der Theater gestellt gewesen wären, desgleichen dafs man des wohlfeilern Preises wegen sie an manchen Orten aus gebrannter Erde verfertigt habe. Gemeiniglich glauben die Akustiker, was auch Vitruv andeutet, die Gefäfse selbst seyen zum Mittönen bestimmt gewesen, in welchem Falle die Anwendung der ehernen unbegreiflich scheint[2], allein ich kann nicht anders glauben, als dafs blofs die eingeschlossene Luft zur Verstärkung des Schalles diente, in welchem Falle ein Abstimmen derselben überflüssig wurde. Aus gleichem Grunde trifft man eine bedeutende Verstärkung des Schalles in allen denjenigen Gemächern, in denen mehrere gewölbte oder überhaupt nur hohle Räume vorhanden sind, und das gemeine Vorurtheil, dafs sich der Schall in diesen fange und dadurch, ebenso wie durch Säulen, geschwächt werde, streitet gegen alle Erfahrung. Grofse Kirchen mit vielen solchen Räumen verstärken den Schall so ausnehmend, dafs mäfsig lautes Reden stärker darin schallt, als in kleinen Zimmern. Hiermit stimmt dann der bereits erwähnte[3] Umstand überein, dafs alte verfallene, mit vielen Löchern und Vertiefungen versehene Mauern, namentlich Bogen und Wölbungen, die vorzüglichsten Echo's geben.

Diese Untersuchung hängt mit einer wichtigen, aber zu-

1 Architectura L. V. cap. 5.
2 Vergl. Biot Traité II. 186. Chladni Akustik S. 252.
3 S. Art. *Echo*. Bd. III. S. 92.

gleich ausnehmend schwierigen Aufgabe zusammen, nämlich gröſsere und kleinere Säle so einzurichten, daſs sie den jedesmaligen akustischen Forderungen am besten genügen. Unter den vielen Betrachtungen, die hierüber angestellt worden sind, entnehme ich die Hauptsachen aus den Werken von J. P. v. Rohde[1], L. Catel[2] und Chladni, mit dem Bemerken, daſs die allgemeinen Grundsätze sehr einfach, specielle Erfordernisse aber oft wegen obwaltender unüberwindlicher Schwierigkeiten gar nicht zu befriedigen sind. In den meisten Fällen handelt es sich bloſs um eine gleichmäſsige Verbreitung des Schalles, in den wenigsten dagegen um eine künstliche Verstärkung, die wiederum entweder allgemein seyn oder so eingerichtet werden soll, daſs die Schallwellen in einem gewissen Raume zusammenfallen und dann nur an diesem das Ohr afficiren. Die hierauf beruhenden *Sprachgewölbe*, deren Untersuchung mit den Gesetzen der Fortpflanzung des Schalles zusammenhängt, werden unten nochmals erwähnt werden, indem hier bloſs von derjenigen Verstärkung des Schalles die Rede ist, die durch mittelbare Schwingungen erzeugt wird. Wie bereits bemerkt wurde, findet hauptsächlich durch hohle Räume eine Verstärkung des Schalles statt, und da man diese in der Regel sucht, so liegt hierin unmittelbar keine Unannehmlichkeit, vielmehr ist es oft überraschend, wie ausnehmend wohlklingend eine Musik wird, deren Schall sich von einem Zimmer aus in Kreuzgewölben und langen klosterartigen Gängen verbreitet. Inzwischen kann auch diese Wirkung zu stark werden, wenn die erzeugten Vibrationen zu lange anhaltend und für sich wahrnehmbar sind, ohne die eigentlichen Haupttöne bloſs zu unterstützen, in welchem Falle die letztern von einem unangenehmen Summen, einer Art Brausen, begleitet sind, demjenigen ähnlich, was man beim Gebrauche eines Hörrohrs wahrnimmt. In den meisten Fällen ist jedoch diese Wirkung eine Folge der Reflexion und nicht des Mittönens. Feste Körper werden um so viel leichter in mittelbare Schwingungen versetzt, je elastischer, je dünner und je weniger sie mit weichen Körpern verbunden sind. Fuſsteppiche, wollne und seidne Tapeten, gepolsterte Meubeln und

1 Theorie des Schalles für Baukünstler. Berl. 1800.
2 Vorschläge zur Verbesserung d. Schauspielhäuser. Berl. 1802.

Digitized by Google

sonstige Dinge dieser Art sind daher in dieser Beziehung und nicht blofs durch gehemmte Reflexion dem Klange nachtheilig, dagegen soll man nach CHLADNI[1] den Concertsaal zu Sanssouci mit dünnen, blofs am Rande auf Leisten aufgenagelten Bretern ausgetäfelt und davon eine gute Wirkung erhalten haben. Die ausnehmende Stärke des Schalles in neuen Gebäuden, insbesondere wenn lange Reihen von Zimmern mit einander zusammenhängen, wird gleichfalls hieraus erklärlich, ist aber im Art. *Echo* bereits erwähnt worden. Uebrigens werden alle bei akustischen Räumen zu berücksichtigende Aufgaben aus den hier mitgetheilten Gesetzen des Mitklingens und aus denen, die sich auf die Sprachzimmer §. 85. beziehn, leicht erklärbar. Wie sehr die Reflexion den Schall verstärke, ersieht man unter andern daraus, dafs man die Stimme eines Rufenden nur mit Mühe in 2000 Fufs Entfernung hört, die aber bei einem Echo von 1000 Fufs Abstand ohne Schwierigkeit vernommen wird. Hierauf beruht auch die von GOUGH[2] untersuchte Schallverstärkung durch grofse Flächen und das durch BLACKBURN[3] beobachtete parabolische Schallbret in der Kirche zu Attercliffe.

D. Absolute Schwingungszahlen; Stöfse, Combinationstöne, Nebentöne und Tonverhältnisse.

45) In unmittelbarer Verbindung mit den bisherigen Untersuchungen steht die Erläuterung der Art und Weise, wie durch die verschiedenen Instrumente Töne vermittelst transversaler oder longitudinaler Schwingungen, und zwar sowohl unmittelbarer als auch mittelbarer, erzeugt werden; um jedoch diesen Theil der Akustik leichter verständlich zu machen, will ich die Untersuchung der absoluten Schwingungszahlen vorausschicken.

Bei den Untersuchungen über die Entstehung des Schalles wurde gleich anfangs der Satz aufgestellt, dafs ein Ton nur dann entstehe, wenn eine genügende Menge in gleichen

1 Akustik S. 252.
2 Nicholson's Journ. 1805. Febr. G. XXIII. 358.
3 Phil. Journ. or Ann. of Philos. N. XXXI. p. 21.

Digitized by Google

Zeitintervallen einander folgender Pulsus jeder Art vorhanden wäre, und alle spätere zahlreiche Erfahrungen bestätigten nicht blofs diesen Hauptsatz der Akustik, sondern erweiterten ihn auch dahin, dafs die Tonhöhe der Menge der in einem gleichen Zeitraume erfolgenden Vibrationen proportional sey. Desgleichen führte die Vergleichung der Längen gleich dicker und gleichmäfsig gespannter Saiten der nämlichen Art, wie nicht minder der schwingenden Luftsäulen, zu dem Resultate, dafs jede doppelte Menge von Schwingungen die Octave desjenigen Tones giebt, welcher durch die einfache erzeugt wird. Da dieses aus der Theorie der Pendelschwingungen folgt und aus leicht zu erhaltenden Erfahrungen hervorgeht, so konnte hierüber schon in den frühesten Zeiten keine Ungewifsheit herrschen; weit schwieriger dagegen war die Aufgabe, die absoluten Schwingungsmengen aufzufinden, die einem gewissen bestimmten Tone zugehören, da diese insgesammt für eine unmittelbare Zählung zu zahlreich sind und die genaue Ausmessung derjenigen Gröfsen, welche bei den verschiedenen tönenden Körpern diese Menge bedingen, viel zu grofsen Schwierigkeiten unterliegt. Sauveur war der erste, welcher gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts diese Frage auf eine sinnreiche Weise zu beantworten versuchte, allein seine nicht vollendeten Untersuchungen, ebenso wie die seines Nachfolgers Sarti, sollen unten in Verbindung mit den neuesten, auf gleiche Weise erhaltenen Resultaten näher beschrieben werden. L. Euler[1] mafs bei gespannten Saiten die in der oben §. 13. mitgetheilten Formel enthaltenen Gröfsen und bestimmte hiernach die Anzahl der Schwingungen einer solchen von 2,5 rheinl. Fufs Länge und durch ihr zehntausendfaches Gewicht gespannten zu 353,5. Aus der Vergleichung des erhaltenen Tones mit dem ungestrichenen a setzte er letzteres zu 392 Vibrationen in einer Secunde, und da das grofse C sich hierzu wie 3 zu 10 verhält, so ergab sich für das grofse C $0{,}3 \times 392 = 117{,}6$ oder 118 mit einer ausnehmend grofsen Genauigkeit, wenn man die damalige tiefere Stimmung in Anschlag bringt. Inzwischen verkannte der grofse Geometer die aus den Schwierigkeiten solcher Messungen nothwendig folgende Unsicherheit dieser Bestimmung nicht und gab daher

1 Tentamen novae theoriae musices. Petrop. 1739. 4. §. 6.

Digitized by Google

später[1] diese Zahl zu 125 an, ja selbst[2] nur zu ungefähr 100. Auch Chladni[3] hat dieses Problem nicht vollständig gelöst, vielmehr gesteht er selbst, dafs wegen der Ungleichheit der Stimmung an verschiedenen Orten eine scharfe Bestimmung unmöglich sey und er daher aus den bekannten Angaben ungefähr das Mittel zugleich auf solche Weise gewählt habe, dafs die Zahlen nach den Potenzen von 2 stiegen. Bei den von ihm mitgetheilten Bestimmungen liegt aufserdem unverkennbar noch das Verhältnifs der Länge tönender Luftsäulen zur Fortpflanzung des Schalles durch die Luft zum Grunde, welches übrigens auch genügt, der wahren Bestimmung so nahe zu kommen, dafs die Abweichungen leicht für eine Folge der an verschiedenen Orten nicht gleichen Stimmung gelten können; denn indem die 32fufsige Orgelpfeife als tiefster Ton mit 32 Schwingungen in jeder Secunde angenommen wird, so giebt das Product dieser beiden Gröfsen 1024 Fufs, also sehr nahe die Entfernung, auf welche der Schall in einer Secunde durch die Luft fortgepflanzt wird. Nach Chladni gehören dann folgende Längen der Orgelpfeifen, Tonhöhen und Schwingungszahlen zusammen, die aus den angegebenen Gründen, und weil sie so leicht im Gedächtnifs zu behalten sind, für gewöhnliche Fälle, wo es auf höhere Genauigkeit nicht ankommt, vollkommen genügen.

Das 32fufsige	C,	der tiefste gebräuchliche Ton,	giebt	32 Schwing.
— 16 —	C,	auch Contra C genannt,	—	64 —
— 8 —	C,	auch grofse C genannt,	—	128 —
— 4 —	c,	ungestrichene oder kleine c	—	256 —
— 2 —	c,	eingestrichene $\bar{c}$	—	512 —
— 1 —	c,	zweigestrichene $\bar{\bar{c}}$	—	1024 —
— ½ —	c,	dreigestrichene $\bar{\bar{\bar{c}}}$	—	2048 —

Die Folge der Töne geht dann auf gleiche Weise fort, jedoch reichen die Orgeln selten bis über den Anfang der dreige-

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. De motu aëris in tubis. §. 62.

2 Briefe (an eine deutsche Prinzessin) über verschiedene Gegenstände aus der Naturlehre. Br. 3. Uebers. von Kries. Th. I. S. 16.

3 Akustik S. 34.

Digitized by Google

strichenen Octave, die übrigen Instrumente aber nicht leicht noch eine Octave höher, und man kann daher nach einer genähert richtigen Bestimmung das sechsgestrichene c mit 16384 Schwingungen im Allgemeinen als die Grenze der wahrnehmbaren Töne betrachten.

Chladni[1] hat zugleich ein einfaches Mittel angegeben und selbst in Anwendung gebracht, um die absoluten Schwingungsmengen der Töne aufzufinden, welches jedoch gleichfalls nur zu genäherten Resultaten führt. Man spannt nämlich einen etwa 6 Lin. breiten, fast 1 Lin. dicken und etliche Fuſs langen eisernen oder von einem sonstigen elastischen Metalle verfertigten Stab unbeweglich fest in einen Schraubstock vertical gerichtet ein, läſst ihn schwingen und sucht die Anzahl der in einer Secunde vollendeten Schwingungen möglichst genau auszumitteln, nachdem man zuvor die Länge des aus dem Schraubstocke hervorragenden Endes scharf bestimmt hat. Demnächst wird der Stab so weit tiefer im Schraubstocke herabgelassen, bis das hervorragende Ende nach abermaligem Festschrauben durch Anschlagen oder Streichen mit einem Violinbogen einen Ton giebt, welcher mit einem zur Vergleichung gewählten Instrumente völlig unison klingt. Indem aber die Schwingungsmengen des nämlichen Stabes in gleichen Zeiten sich umgekehrt wie die Quadrate der Längen verhalten, so ist durch das bekannte Verhältniſs beider Längen und die einer derselben zugehörige Schwingungszahl die der andern durch einfache Proportion gegeben. Chladni schlägt als am meisten für solche Versuche geeignet vor, einen Stab zu wählen, welcher in 1 Sec. 4 Schwingungen macht, von diesem dann den achten Theil aus dem Schraubstocke hervorragen zu lassen, welcher also $8^2 \times 4 = 256$ Vibrationen in gleicher Zeit vollenden und also das ungestrichene c geben wird; einen solchen Metallstab nennt er *Tonmesser* oder *Tonometer*.

46) Daniel Bernoulli[2] bestimmte die absolute Menge der Schwingungen aus der Vergleichung der Töne, welche zwei mit dem Munde angeblasene Pfeifen gaben, und fand für eine solche von 4 Fuſs Länge und am einen Ende offene 115 Schwingungen in 1 Secunde, für eine damit gleich gestimmte

1 A. a. O. G. V. 1.

2 Mém. de l'Acad. 1762. p. 467.

Digitized by Google

Saite aber 116; allein Dülong bemerkt mit Recht, dafs weder die Länge der schwingenden Luftsäule genau gemessen, noch die eigentliche Tonhöhe hierbei scharf bestimmt werden kann, und aufserdem nahm er das Dichtigkeitsverhältnifs des Quecksilbers zur Luft bei 28 Z. Druck = 12000 : 1 an, welches eine Temperatur von 39° C. voraussetzt, die man unmöglich annehmen kann. Die Angabe stimmt auch mit der vorher mitgetheilten nicht überein, denn die doppelten Schwingungen für einfache genommen gäbe eine vierfufsige Pfeife nur 230 oder 232 Schwingungen, statt dafs Chladni 256 annimmt. Biot[1] nimmt als richtig an, dafs ein fester schwingender Metallstab (Chladni's Tonometer), wenn er 128 Vibrationen in einer Secunde macht, den nämlichen Ton giebt, als das tiefste C der Claviere, und eben diesen erhielt er als Grundton vermittelst einer 4 Fufs langen gedeckten Pfeife. Da aber die tönenden Schallwellen gleiche Geschwindigkeit haben, als diejenigen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, so darf man bei einer gedeckten Pfeife nur die doppelte Länge in den Raum dividiren, welchen der Schall in 1 Secunde durchläuft, um die Anzahl der Vibrationen in der nämlichen Zeit zu finden. Die Geschwindigkeit des Schalles setzt er = 337,18 Met., und wenn diese und die Länge der Pfeife in Linien verwandelt werden, so erhält man

$$\frac{337{,}18 \times 443{,}296}{2 \times 576} = 129{,}75$$

als Anzahl der Wellen für C in 1 Sec. Diese Gröfse liegt zwischen 128 nach Chladni und 131,5 nach Sarti ungefähr in der Mitte, allein bei der Berechnung ist auf die Temperatur nicht Rücksicht genommen, welche das erhaltene Resultat nach Biot's eigener Angabe bedeutend abändert; auch geht aus den unten (E. b.) mitgetheilten Untersuchungen hervor, dafs wegen der Unbestimmtheit des Anfangspunctes der Vibrationen in Pfeifen auf diese Weise keine genauen Bestimmungen zu erhalten sind.

Den höchsten Grad von Genauigkeit dieser Bestimmung hat Dülong[2] bei denjenigen Versuchen erreicht, die er zur

1 Traité T. II. p. 143.

2 Ann. Chim. et Phys. XLI. 113. Baumgartner's Zeitschr. Th. VI. S. 474. Der gelehrte Hr. Verf. war so gütig, mir persönlich nicht

Digitized by Google

Ausmittelung der respectiven Wärmecapacität der Gasarten anstellte und wobei die hier vorliegende Frage gleichfalls erörtert wurde. Zum Zählen der Vibrationen bediente er sich der *Sirene*, eines für die akustischen Versuche so wesentlichen Instruments, dafs deren Beschreibung einen eigenen Artikel ausmachen könnte, wenn es nicht des Zusammenhanges wegen besser wäre, diese hier einzuschalten.

Die *Sirene* (*Sirène*, vom Gesange der mythischen Sirenen so benannt) ist ein von Caignard de la Tour[1] erfundener, sinnreich construirter Apparat, um die beiden Hauptsätze der Schalllehre anschaulich zu machen, nämlich dafs durch blofse Pulsus, von welcher Art sie auch seyn mögen, wenn sie nur regelmäfsig und hinlänglich zahlreich in einer gegebenen Zeit auf einander folgen, ein Ton erzeugt wird, und dafs die Höhe dieses Tones der Menge der in gleichen Zeiten erfolgenden Pulsus direct proportional ist. Vermittelst derselben kann daher gezeigt werden, dafs die Pulsus, die durch blofse Unterbrechungen der ausströmenden Luft, des ausströmenden Wassers oder Quecksilbers entstehn, auf gleiche Weise und noch leichter einen Ton geben, als die Stöfse der Zähne eines hinlänglich schnell um seine Axe geschwungenen Rades gegen ein elastisches und daher leicht genug ausweichendes Blech nach Savart. Das Instrument kann mit einigen aufserwesentlichen Abänderungen construirt werden, e scheint mir jedoch am zweckmäfsigsten, ohne Rücksicht hierauf die Beschreibung nach den besten Exemplaren mitzutheilen, die ich selbst gesehn und gebraucht habe. Der wesentlichste Theil ist das genau abgedrehte messingne Rad oder die

Fig. 144. u. 145.

blofs die gebrauchten Apparate, sondern auch die Art des Experimentirens zu zeigen.

1 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 167. T. XVIII. p. 438. T. XXXV. p. 42. Vergl. G. LXXXVI. 265. Die dabei zum Grunde liegende Idee ist früher schon durch Stancarius aufgefafst worden. Dieser bediente sich eines um seine Axe geschwungenen Rades von 3 Fufs Durchmesser, in dessen Kranz 200 hervorstehende Nägel geschlagen waren. Beim Durchschneiden der Luft durch dieselben entstanden Töne, deren Höhe der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional war, und aus der Zahl der Umläufe in 1 Secunde konnte die Zahl der Pulsus gefunden werden. Es sind indefs keine genaueren Bestimmungen der erhaltenen Resultate angegeben worden. S. Comm. Bonon. T. I. p. 180.

Digitized by Google

Scheibe A auf einer verticalen, oben und unten in feine Stahlspitzen auslaufenden Axe p q festsitzend, und von einem Durchmesser, welcher am zweckmäfsigsten 3 par. Zoll beträgt, jedoch auch bis 4 Zoll und darüber steigen kann. Da das Rad sehr schnell und mit grofser Leichtigkeit stets gleichmäfsig umlaufen mufs, so ist erforderlich, dafs die in Vertiefungen laufenden Stahlspitzen der Axe hinlänglich polirt sind; auch thut man wohl, die Vertiefungen, worin sie laufen, in Schrauben anzubringen, um bei etwaigem Auslaufen das Schlottern zu vermeiden. Die Dicke des Rades mufs so weit, als die Zähne reichen, sehr gleichmäfsig und nicht stärker als etwa eine par. Linie seyn, jedoch ist es vortheilhaft, demselben an dem nicht gezahnten Theile eine etwas gröfsere Dicke zu geben, um dadurch eine gröfsere Schwungkraft und somit eine länger dauernde gleichmäfsig geschwinde Rotation nach aufhörendem oder unterbrochenem Impulse zu erreichen. In den Rand sind bis zu einer Tiefe von fast drei Linien 100 Zähne in der Art ausgeschnitten, dafs die stehn gebliebenen Theile und die weggenommenen Oeffnungen genau gleiche Breite haben, überhaupt ist es wesentlich, dafs die nach dem Centrum hin zunehmende Verminderung des Raumes oder der Gröfse der Scheibe auf die Zähne und ihre Zwischenräume gleichmäfsig vertheilt werde, dafs beide also in allen Theilen der Peripherie ihre gleiche Gröfse beibehalten, dafs die Zähne genau kantig gearbeitet und von ebenen, fein ausgeschliffenen Flächen begrenzt sind. Unter den Zähnen befindet sich die kurze verticale Röhre a, deren äufserer Durchmesser gleichfalls 3 Linien beträgt und welche oben mit einer horizontalen Platte bedeckt ist, worin sich ein 2 Lin. langer Einschnitt befindet. Dieser Einschnitt kommt also gerade unter die Mitte der Zähne, ein gut gearbeitetes Instrument aber erfordert zugleich, dafs derselbe mit den Zähnen und ihren Zwischenräumen vollkommen parallel laufe, genau dieselbe Breite habe und gleich diesen scharfkantig, mit ebenen Flächen versehn und fein ausgeschliffen sey, auch mufs die untere Fläche der Zähne die obere Platte der Röhre zwar nicht berühren, ihr jedoch so nahe kommen, dafs man kaum ein feines Blättchen Papier dazwischen schieben kann. Hieraus folgt also, dafs beim Umlaufen der Scheibe um ihre Axe jeder über dem Einschnitte in der Cylinderplatte sich befindende Zahn diesen

Digitized by Google

verschliefst und dann wieder öffnet, wenn er um seine Dicke weiter gerückt ist, so dafs der Zwischenraum zwischen zwei Zähnen über der Oeffnung steht. Dieser Wechsel des Oeffnens und Verschliefsens erfolgt also dann, wenn der äufsere gezahnte Rand der Scheibe um eine Zahndicke weiter rückt, folglich bei vorhandenen 100 Zähnen 100mal bei einem Umlaufe, und wenn irgend eine Flüssigkeit, von welcher Art und mit welcher Geschwindigkeit es seyn mag, aus jener Oeffnung strömt, so wird ihre Bewegung durch jeden jener Wechsel aufgehalten, sie fafst also gegen jeden ihren Strom durchschneidenden Zahn, und diese Stöfse erfolgen bei guter Arbeit der Maschine nicht blofs sehr gleichmäfsig, sondern auch bis zu einer weit hinausliegenden Grenze ungemein schnell, nämlich so viele hundert Male in einer Secunde, als Umläufe der Scheibe statt finden. Weil die Scheibe bei dieser schnellen Bewegung eine starke Schwungkraft erhält, so mufs der Bügel CDE, zwischen welchem sich ihre Axe befindet, hinlänglich massiv und stark seyn, das untere Ende der Röhre a aber wird entweder auf die Düse eines Blasebalges gesteckt, welcher sich zu gröfserer Bequemlichkeit für gewöhnliche Versuche mit atmosphärischer Luft in dem Kästchen M befinden kann, oder sie wird mit dem Luftstrome aus einem Gasometer verbunden, oder man bläst mit dem Munde hinein, oder läfst den Strom irgend einer Flüssigkeit hindurchfliefsen, indem man der Maschine die umgekehrte Lage giebt, als welche in der Zeichnung ausgedrückt ist. Um endlich eine besondere Vorrichtung entbehrlich zu machen, wodurch das Umlaufen des Rades bewirkt wird, sind die Oeffnungen zwischen den Zähnen des Rades schräg geschnitten, so dafs die Ebenen ihrer begrenzenden Flächen ungefähr einen Winkel von etwa 30° oder etwas mehr mit der Axe der Scheiben bilden, wonach also der Strom der Flüssigkeit, dessen Geschwindigkeit auf den erzeugten Ton übrigens keinen Einflufs hat, mit einer seiner Stärke proportionalen gröfsern Schnelligkeit das Rad selbst umtreibt. Man kann daher mit diesem kleinen Instrumente vom tiefsten Tone des Violoncelles anfangen und durch Steigerung der Stärke des Strömens und dadurch bewirktes schnelleres Umlaufen bis zum höchsten Tone der Geigen gelangen.

Bis so weit ist die Sirene das geeignetste Instrument, um

Digitized by Google

zu beweisen, dafs blofse Pulsus eines jeden Körpers, sobald sie regelmäfsig und hinlänglich schnell auf einander folgen, einen Ton zu erzeugen vermögen und dafs die Höhe des Tones der Geschwindigkeit dieser Pulsus proportional ist; denn so wie die durch blofses Augenmafs geschätzte Geschwindigkeit des Umlaufens wächst, nimmt die Tonhöhe nicht sprungweise, sondern ganz allmälig zu und wächst durch die geringsten, dem Ohre nicht angenehmen Abstufungen, bleibt aber eine beliebige Zeit sich selbst gleich, so lange sich die Geschwindigkeit der Scheibe nicht ändert. Soll aber die Menge der einen gewissen Ton bedingenden Pulsus aufgefunden werden, so erfordert die Maschine ein Räderwerk, um das Zählen mechanisch zu verrichten. Die nothwendigen Bedingungen hierbei sind zuerst, dafs eine möglichst grofse Zahl von Pulsus gezählt werden könne, und dann, dafs die Zählung, sobald man will, augenblicklich beginne und ebenso schnell wieder aufhöre, um hiernach das Zeitintervall mit gehöriger Schärfe zu messen. Unter den verschiedenen Mechanismen, wodurch dieser Zweck erreicht werden kann, scheint mir folgender am bequemsten und sichersten. Um die Räder in Bewegung zu setzen, dient das Getriebe k, welches in das Rad R eingreift. Das Getriebe hat eine konische Oeffnung und ist auf die gleichfalls konische Spindel der Scheibe so aufgesteckt, dafs sie etwas in die Höhe gehoben an der Umdrehung der letztern nicht Theil nimmt, etwas abgedrückt aber sich festklemmt und selbst umgedreht das Räderwerk in Bewegung setzt. Damit dieses momentan eintrete, drückt man mit dem Finger auf den Knopf α, damit die Gabel γ das Getriebe k herabtreibe und auf der konischen Spindel feststecke, worauf jedoch die Gabel γ sofort durch die Feder φ, welche gegen die Scheibe σ wirkt, wieder in die Höhe gehoben wird, um auf der Oberfläche des Getriebes keine Reibung zu verursachen. Nach beendigtem Versuche geschieht die Auslösung ebenso einfach und schnell durch einen Druck auf den Hebelarm β, welcher im Charniere ψ leicht beweglich ist, mit der Gabel an seinem andern Ende π die Platte σ unmittelbar, durch die Gabel γ die Platte δ und durch diese das an ihr festsitzende Getriebe k hebt, so dafs dieses an dem fortdauernden Umlaufen der dünnern Spindel nicht weiter Theil nimmt, woran noch obendrein die Reibung der Platte δ an der Oberfläche der

Digitized by Google

Gabel γ hindert, der Hebelarm π ist schwerer, als der andere β, sinkt daher sich selbst überlassen bis auf das Ende der Feder φ herab; damit aber das Getriebe nicht zu frühzeitig herabsinke und das Zählen nicht vor dem Momente des Niederdrückens des Knopfes α beginne, später aber keine Reibung der Scheibe δ an der Gabel γ statt finde, drückt die an der Strebe μ befestigte Feder $\omega\lambda$ gegen das Ende des Hebelarmes β, und bewirkt durch ihre Reibung, dafs der Hebel in jeder Lage ruht und zugleich den Stab $\alpha\gamma$, also mit diesem auch das Getriebe k an der Scheibe δ in der erforderlichen Höhe hält. Ist aber der Knopf α und mit ihm die Scheibe σ und das Getriebe k herabgedrückt, letzteres aber auf der Spindel festgesteckt, so hebt die starke Feder φ beim Nachlassen des Druckes die Gabel γ nicht so hoch, dafs sie mit der Scheibe δ in Berührung kommt und Reibung erzeugt, bis man nach Beendigung des Versuches den Hebelarm β vermittelst des auf ihm sitzenden Knopfes ganz herabdrückt, worauf die Feder $\lambda\omega$ sein Aufsteigen unmöglich macht.

Die Einrichtung der Räder ist zwar willkürlich, allein zur nähern Uebersicht dienen folgende Angaben[1]. Das Getriebe k hat 6 Zähne, das dadurch bewegte Rad R hat 90, auf dem untern Theile der Spindel desselben ist ein Zeiger aufgesteckt, dessen leicht federnde Hülse gestattet, dafs man ihn auf jede beliebige Zahl, also beim Anfange des Versuches auf 0 der auf einer unter ihm befindlichen Scheibe aufgetragenen Theilung stellen kann. Diese erste Zeigerscheibe enthält 15 gröfsere Abtheilungen und zwischen jeder 3 kleinere, im Ganzen also 60, wovon die erstern ganze, die letztern Viertels-Umläufe der gezahnten Scheibe angeben, so dafs also, vorausgesetzt man könne die Hälfte eines solchen Theiles noch hinreichend schätzen, die Messung bis auf etwa 12 einzelne Pulsus herabgeht; im Ganzen aber läfst sich mit diesem Zeiger bis 1500 Pulsus zählen. Auf dem obern Ende der Spindel des Randes r befindet sich wiederum ein Getriebe mit 6 Zähnen, in welches die beiden Räder ϱ und ϱ', das eine mit 60, das andere mit 61 Zähnen, eingreifen. Diese sind also soge-

1 Der hier beschriebene Mechanismus ist in der Zeichnung nicht ausgedrückt, weil er die Figuren undeutlich machen würde und auch ohne dieses leicht verstanden wird.

Digitized by Google

nannte *hunting wheels*, jedes mit einem Zeiger versehn, deren ersterer einmal umläuft, wenn das Rad R 10 Umläufe beendigt, die Zeigerscheibe ist daher nur in 10 Theile getheilt, der Zeiger des letztern aber läuft zwar mit diesem gleichmäfsig um, bleibt aber bei jedem Umlaufe beider um den Abstand eines Zahnes zurück und die ihm zugehörige Scheibe enthält daher gleichfalls 10 gröfsere Abtheilungen, zwischen jedem aber noch 5 kleinere, im Ganzen also 60, die auch auf der andern bemerkt werden können, um den Unterschied beider schneller zu übersehn. Werden demnach beim Anfange der Messung eines Tones alle Zeiger auf 0 gestellt, so lassen sich nach der Beendigung die Zahl der Pulsus messen, und diese Messung reicht bis $100 \times 15 \times 10 \times 60 = 900000$; inzwischen könnte man noch weiter gehn, wenn man beim Experimentiren die ganzen Umläufe des letzten Zeigers beachten wollte.

Dülong bemerkt mit Recht, dafs man die Versuche mit Anwendung der Sirene beliebig wiederholen und dadurch die Genauigkeit so weit treiben könne, wie man wolle, ja es ist selbst nicht nothwendig, bei jedem neuen Versuche wieder von 0 der sämmtlichen Zeiger anzufangen, vielmehr kann man den Anfang jedes folgenden Versuchs unmittelbar an das Ende des vorhergehenden anknüpfen, ungeachtet Fehler der Theilung bei einem in dieser Hinsicht so einfachen Instrumente nicht zu erwarten sind. Vor allem verdient aber die ausnehmend sinnreiche Methode des Experimentirens, die der genannte Gelehrte angewandt hat, beachtet zu werden. Derselbe hatte eine kleine Orgel, die nur etwas über eine Octave umfafste, mit gut gestimmten und einen ihrer Gröfse genau angemessenen Ton gebenden Pfeifen verfertigen lassen. An der Seite der Claviatur befand sich eine Oeffnung, in welche die Sirene gesteckt wurde, und der Blasebalg, welcher sie tönen machte, konnte mit zugelegten Gewichten so lange beschwert werden, bis der willkürlich verstärkte Luftstrom bleibend den erforderlichen Ton gab, welcher mit einer der Orgelpfeifen genau unison klang. War dieses vollständig erreicht, so wurde das Zeigerwerk der Sirene in Bewegung gesetzt und die Zeit genau gemessen, bis dieses wieder gesperrt wurde. Auf diese Weise wurde aufgefunden, dafs das eingestrichene c (c) 500,4 Schwingungen in einer Sexagesimalsecunde hat und durch eine

Digitized by Google

Pfeife von 0,6 Meter Länge hervorgebracht wird. In Beziehung auf diese letztere Angabe darf nicht übersehn werden, dafs die Töne tiefer werden, wenn die Temperatur abnimmt, und dafs es daher nöthig war, die bei diesem Versuche beobachtete Wärme von 22° C. zu bemerken. Dülong hat durch seine Versuche zugleich aufgefunden, dafs die Schwingungsmengen der Luftsäulen von 0° an gerechnet bei einer Temperatur von t° um die Gröfse $= \sqrt{1+0{,}00375\,t}$ wachsen und also die bei irgend einer Temperatur $= t$ gefundenen Schwingungszahlen $= N$ für eine andere Temperatur $= t'$ in

$$N' = N\sqrt{\frac{1+0{,}00375\,t'}{1+0{,}00375\,t}}$$

verwandelt werden, was er wenigstens zwischen 4° und 22° bestätigt fand. Insofern aber der Ton ohne Zweifel durch eine Stimmgabel bestimmt wurde, was ich unter andern auch daraus schliefse, dafs ich die gebrauchten Stimmgabeln bei Dülong gesehn habe, und es also hier auf die Vergleichung der Stimmgabel, auf welche der Einfluſs der Temperatur nicht bedeutend und vorerst noch unbestimmt ist, mit den Angaben der Sirene ankommt, so ist diesemnach die angegebene Zahl der Schwingungen $= 500{,}4$ als eine absolute zu betrachten, die von der durch Chladni angenommenen $= 512$ um $-11{,}6$ abweicht. Bei der letztern Angabe fehlt die Bestimmung der Temperatur; es läfst sich jedoch voraussetzen, dafs sich die Resultate der ohnehin nicht absolut genauen Versuche auf mittlere Wärme beziehn, wie sie durch Dülong bestimmt worden ist.

47) Gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts brachte Sauveur ein Mittel in Vorschlag, die absoluten Schwingungsmengen, die einem gegebenen Tone zugehören, aufzufinden, welches Sarti später abermals empfahl, Hällström neuerdings mit seiner bekannten Gewandtheit im Experimentiren zur Anwendung brachte, Scheibler aber so eben durch einige nicht unwesentliche Abänderungen des Verfahrens und der angewandten Apparate bis zur gröfsten Vollendung erhob, nämlich die sogenannten *Stöfse*, *Schläge* oder *Battements*. Damit die folgende Betrachtung deutlicher werde, wird nöthig seyn, zuvörderst anzugeben, was hierunter eigentlich zu verstehn sey, um so mehr, als man diese interessante Erscheinung bei weitem nicht so allgemein zu beachten pflegt,

Digitized by Google

als sie verdient, und meistens wegen der Aufmerksamkeit auf die aus ihnen oft entstehenden *Combinationstöne* übersehn hat.

Wenn zu einem Tone eine gewisse Anzahl Schwingungen $= r$, zu einem andern aber $= s$ Schwingungen gehören, beide im Verhältnifs $= a:b$ zu einander stehn, so müssen bei gleichzeitigem Anstimmen derselben $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ Stöfse in irgend einer gegebenen Zeit erfolgen. Angenommen zwei Töne seyen völlig gleichgestimmt, so fallen ihre Schwingungen stets zusammen und es kann kein anderer Erfolg hieraus hervorgehn, als dafs der Ton eine verstärkte, aber stets sich gleichbleibende Wirkung auf das Ohr hervorbringe, wie dieses bei beiden gleichgestimmten Saiten des nämlichen Tones auf den Tasten-Instrumenten der Fall ist. Gehören dagegen zur Erzeugung eines Tones r Schwingungen und tönt gleichzeitig ein anderer von $r + 1$ Schwingungen, so werden die letztern hinter den erstern stets weiter zurückbleiben, bis die r^{te} von jenem mit der $r + 1$sten von diesem zusammenfallen. Berücksichtigt man zugleich, dafs die Schallwellen aus abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen bestehn, so fällt im angegebenen Falle die erstere mit der letztern, man könnte sagen eine positive mit einer negativen, zusammen, die sich ausgleichen und die Wirkung vermindern, anstatt sie zu vermehren, dagegen werden nach $2r$ Vibrationen des ersten und $2(r+1)$ Vibrationen des zweiten Tones die positiven beider zusammenfallen, und hieraus mufs eine gewisse Wirkung, eine Verstärkung des Tones entstehn, die den sogenannten *Stofs* oder *Schlag* (*battement*) giebt. Ist demnach das Verhältnifs der Vibrationen $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ gegeben, so werden $\frac{n}{2}$ Stöfse in einer gegebenen Zeit für die Vielfachen von r und s erfolgen. Scheibler[1] hat diese theoretische Betrach- Fig. 146.

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Erfunden und ausgeführt von Heinrich Scheibler. Essen 1834. 8. Scheibler wendet blofse Subtraction der Vibrationszahlen an, wodurch die Sache allerdings deutlich gemacht und selbst für die verschiedenen Octaven mit Consequenz durchgeführt werden kann. Hat z. B. ein Ton 880, ein anderer 872 Vibrationen in einer Secunde, so giebt $880 - 872 = 8$, also $\frac{8}{2} = 4$ Stöfse in einer Secunde u. s. w.

Digitized by Google

tung durch eine instructive Figur sinnreich erläutert. Die Schallwellen zweier Töne, von denen 15 des einen in gleicher Zeit als 16 des andern erfolgen, fangen am Endpuncte mit 0 gleichzeitig an, und da die letztern im Verhältnifs von $\frac{1}{16}$ kürzer sind, so bleibt jede um $\frac{1}{16}$ zurück, sie erreichen sich jedoch einander nach der erforderlichen Zeit, aber es fällt die Vertiefung der einen mit der Erhöhung der andern zusammen, bis sie nach Verlauf des zweiten Zeittheiles beide mit ihren Erhöhungen zusammenfallen und den Stofs erzeugen. Hieraus folgt dann von selbst, dafs der durch beider Schwingungen erzeugte Ton im Maximo anfangen, dann allmälig bis zum Minimum abnehmen und wieder bis zum Maximum wachsen mufs, welcher Erfolg, durch die Zeichnung Fig. 147. dargestellt, das eigentliche Wesen der Stöfse anschaulich macht und zugleich den Beweis liefert, dafs jede ganze Schallwelle aus einem Fortschreiten und einem Rücklaufen besteht, wie Dan. Bernoulli von den Schwingungen der Luftsäulen nachgewiesen hat (§. 37. c.), dafs man demnach die einfachen Pulsus allgemein positiv und negativ nennen kann [1].

Bleiben wir zuvörderst bei diesen Stöfsen an sich stehn, wie sie sich ganz auf die angegebene Weise zeigen, so entdeckt man dieselben bald da, wo sie von selbst entstehn oder künstlich dargestellt werden, sobald man sie nur mit gehöriger Aufmerksamkeit beachtet. Am leichtesten erhält man sie, wenn man bei einem durch 2 Saiten erzeugten tiefen Tone eines Forte-Piano die eine Saite absichtlich so weit tiefer stimmt, dafs das Ohr den Ton jeder einzelnen als unmerklich verschieden erkennt. Werden dann beide gleichzeitig durch die nämliche Clavis angeschlagen, so hört man deutlich das wellenartige Wachsen und Abnehmen, und das von beiden reflectirte Sonnenlicht zeigt sie gekräuselt, statt dafs sie gleichstimmend als blanke Fläche erscheinen. Das Zeitintervall zwischen zwei Maximis der Intensität des erzeugten gemeinschaftlichen Tones ist am kleinsten bei gröfster Ungleichheit der

1 Unter den Stimmgabeln, die ich der Güte des Herrn Scheibler verdanke, finde ich zwei, bei deren gleichzeitigem Tönen man sehr bald blofs die Stöfse, die erzeugenden Töne selbst aber gar nicht hört. Ob hierbei vielleicht zufällige völlige Gleichheit der Stärke beider Töne mitwirkend sey, vermag ich nicht zu entscheiden.

Digitized by Google

Stimmung beider, wird aber gröfser, je näher man sie der gleichen Stimmung bringt, und müfste bei absoluter Gleichheit unendlich werden, wobei sich von selbst versteht, dafs das ganze Phänomen aufhört wahrnehmbar zu seyn, wenn die Coincidenzen in zu langer Zeit erfolgen und daher der Wechsel der Stärke des Tones mit der bei den meisten Instrumenten statt findenden Abnahme desselben verschwindet. Auf gleiche Weise hören sie aber auch dann auf, wahrnehmbar zu seyn, wenn sie einander so nahe liegen, dafs sie ebenso wenig, als die den Ton bedingenden Vibrationen, einzeln unterscheidbar sind. Hat man auf die hier angegebene Weise einmal die Stöfse kennen gelernt, so findet man sie bei vielen andern Erscheinungen leicht wieder. So zeigen sie sich namentlich sehr auffallend beim Tönen grofser Thurmglocken, ganz denjenigen Betrachtungen gemäfs, wonach die Erzeugung des Schalles bei diesen (oben §. 34.) erklärt worden ist, ferner bei Glasröhren, langen Metallstäben und silbernen Löffeln, wenn man sie an einem Faden herabhängen läfst und mit den Fingern die Enden des Fadens ins Ohr bringt. Liegen die Stöfse einander sehr nahe, z. B. bei tiefen verschieden gestimmten Tönen, namentlich der Orgelpfeifen, so erzeugen sie ein widerliches Gerassel, ein unangenehmes Geräusch, und hieraus wird zugleich das sogenannte Schlagen der Töne zweier Instrumente und der Umstand erklärlich, dafs es auf den meisten Violoncello's einen Ton giebt, welcher nicht zum reinen Klange gebracht werden kann, weil die Schwingungen der Saite mit denen des obern Resonanzdeckels so zusammenfallen, dafs einander sehr nahe liegende Stöfse erzeugt werden.

48) Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich von selbst, dafs man aus der Menge der Stöfse, die je zwei Töne von bekanntem Verhältnisse ihrer Schwingungsmengen in einer bestimmten Zeit geben, die absolute Zahl der Schwingungen eines Tones auffinden könne. Sauveur[1] scheint dieses zuerst

1 Hist. de l'Acad. de Paris 1700. p. 134. Sauveur bestimmte später die absolute Zahl der Vibrationen aus dem Gewichte, der Länge und der Spannung einer Metallsaite, auf die Weise, als dieses durch Bernoulli und später durch L. Euler geschehn ist, und fand für das tiefste A des Forte-Piano, also unser grofses A, 242 Schwingungen, wonach er auch einsah, dafs die früher von ihm ge-

aufgefunden zu haben, zeigte es der Akademie an, diese ernannte eine Commission zur Prüfung seiner Angaben, allein es war merkwürdig, dafs ihm damals die Versuche nicht gelingen wollten, weswegen die Untersuchung nicht weiter verfolgt, sondern blofs den Physikern und Musikern zur nähern Betrachtung empfohlen wurde. Dafs er die eigentlichen Stöfse, das erwähnte periodische Wallen der Töne, richtig beobachtet habe, unterliegt wohl keinem Zweifel, aber er ging offenbar in der Sache zu weit, sofern er die Consonanz überhaupt von der Abwesenheit der Stöfse ableitete, obwohl vor Augen liegt, dafs man beim Stimmen der Tasteninstrumente die völlige Gleichheit beider Saiten durch Beachtung der Stöfse am besten erreichen kann; allein die Versuche zur Bestimmung der absoluten Schwingungsmengen hat er mit Orgelpfeifen angestellt, die sich hierzu weniger eignen, weil man die minder scharf klingenden Töne derselben so genau nicht unterscheiden kann. Ferner hat er mit Unrecht angenommen, dafs jedes Zusammenfallen zweier in gleicher Zeit statt findenden Schwingungsmengen einen Stofs gebe, und hiernach ist die von ihm gefundene absolute Menge von Vibrationen nur ungefähr halb so grofs, als sie eigentlich seyn müfste, denn nach ihm soll bei den Stimmungen ein Ton von 100 Schwingungen in einer Secunde zum Grunde liegen, wie ihn eine 5 F. lange Pfeife giebt, eine 40 F. lange gäbe dann nur 12,5 und die möglichst kürzeste von $\frac{1}{16}$ Zoll 6400 als höchsten auf diese Weise zu erzeugenden Ton. Es folgt aber aus dem, was oben §. 39. mitgetheilt worden ist, dafs alle diese Schwingungsmengen doppelt zu nehmen sind, wenn sie mit der Wahrheit übereinkommen sollen.

Erst 1796 wiederholte Sarti[1] die nur unvollkommen bekannt gewordenen Versuche Sauveur's und zeigte sie in der Akademie zu Petersburg, wobei er sich zweier Pfeifen von 5 Fufs Länge, eines Monochords und eines Secundenpendels bediente, jedoch verfiel er in den nämlichen Fehler als sein Vorgänger, indem er die Menge der Vibrationen dieser Pfeife

fundenen doppelte gewesen seyn mufsten. Mém. de l'Acad. 1713. p. 324.

1 Nov. Act. Petrop. T. XIII. Hist. p. 81. Vergl. Voigt's Magaz. St. 1. S. 102.

gleichfalls zu 100 annahm und diesemnach für ā deren 436 bestimmte. Durch Sarti wurde die Sache hauptsächlich bekannt, jedoch wufste man meistens nur im Allgemeinen, dafs Sauveur auf die Stöfse aufmerksam gemacht und den Ton von 100 Schwingungen als Normalton vorgeschlagen habe[1], ohne dafs man darauf Bedacht nahm, das von ihm angegebene Mittel weiter zu vervollkommnen. Selbst Chladni[2], in allen Zweigen der Akustik so vollständig, erwähnt die Erscheinung der Stöfse nur beiläufig, kennt jedoch dieselben so genau, dafs er die gefundenen Stöfse doppelt nennt, also ihre Zahl von 100 auf 200 vermehrt, ohne den Grund hiervon anzugeben oder das oben nachgewiesene öftere Vorkommen derselben näher zu bezeichnen. W. Weber, mit allen akustischen Erscheinungen so innig vertraut, kannte nicht blofs die Stöfse, sondern benutzte dieselben auch sehr sinnreich zu der von ihm vorgeschlagenen Compensation der Orgelpfeifen[3] und zur Ausmittelung der specifischen Wärme einiger Metalle[4]. Es heifst nämlich: „Die Schwingungen zweier neben einander tönender Körper, bei denen nur ein geringer Unterschied ihrer Tonhöhe statt findet, machen von Zeit zu Zeit auf das Ohr einen stärkern Eindruck, so oft die Maxima ihrer Schwingungen zusammenfallen, und diese stärkeren Eindrücke auf unser Ohr nennen wir *Schwebungen*.“ Dafs Weber jedoch dieses Mittel nicht zur Auffindung der absoluten Schwingungsmengen der Töne nach irgend einer festen Stimmung benutzt habe, geht aus seiner Angabe hervor, wonach „der Ton ā, wie gewöhnlich die Stimmgabeln des Forte-Piano, 864 Schwingungen“ haben soll, welches für c̄ deren 518,4 giebt, also 18 mehr als nach Dülong und 6 mehr als nach Chladni. Woher diese Bestimmung entnommen sey, vermag ich für jetzt nicht aufzufinden.

1 Vergl. Th. Young Lect. on Nat. Phil. II. 607.

2 Akustik §. 37. wird der Vorschlag Sauveur's, den Ton einer 5 F. langen pariser Orgelpfeife als Norm anzunehmen, beiläufig erwähnt; später §. 188. wird bei Gelegenheit des Mitklingens blofs Sarti genannt, ohne Angabe und Erläuterung des Kunstausdrucks. In seinem Traité d'Acoustique sind zwar die Battements ausdrücklich genannt, aber ohne Andeutung irgend einer Bedeutsamkeit der Sache.

3 Poggendorff's Ann. XVI. 397., zunächst 399.

4 Ebend. XX. 177.

Digitized by Google

49) Der erste, welcher seit Sauveur und Sarti in der neuesten Zeit die Zahlen der Stöfse (*Schläge*) zur Auffindung der absoluten Schwingungsmengen der Töne benutzt hat, ist Hällström[1]. Um seine veränderte Theorie der Combinationstöne durch die Erfahrung zu prüfen, bediente er sich der Orgelpfeifen, und weil die Töne, deren Stöfse man untersuchen will, einander nahe liegen müssen, so war er genöthigt, blofs die tiefste Octave von $\underline{C}$ bis C in der Art zu benutzen, dafs er die Zahl der Stöfse zwischen den einander nächsten Intervallen $\underline{C}$ und $\underline{C\sharp}$, $\underline{D}$ und $\underline{D\sharp}$, $\underline{E}$ und $\underline{F}$, $\underline{F\sharp}$ und $\underline{G}$, $\underline{G\sharp}$ und $\underline{A}$, $\underline{B}$ und $\underline{H}$, $\underline{H}$ und C jedesmal im Mittel aus 10 Versuchen bestimmte. Nimmt man mit Chladni für $\underline{\underline{C}}$ 32 Schwingungen an, so giebt $\underline{C}$ deren 64. Ein Versuch mit Chladni's oben beschriebenem Tonometer gab deren 70, was ihm jedoch mit Recht nicht hinlänglich genau zu seyn schien. Zur Auffindung dieser Gröfse aus der Zählung der Stöfse führt dann folgende Betrachtung. Die Zahl der Stöfse, welche zwei zugleich angestimmte Töne geben, ist dem Unterschiede ihrer Oscillationsmengen gleich und diesemnach die Summe aller Stöfse in der ganzen Octave von $\underline{C}$ bis C dem Unterschiede der Schwingungsmengen $C - \underline{C}$, wenn anders diese beiden Töne richtig gestimmt sind, was sich unter allen diesen tiefen Tönen für diese am leichtesten erreichen läfst, und hieraus geht hervor, dafs $C - \underline{C} = \frac{1}{2} C = \underline{C}$, gleich der Summe der zur Erzeugung von $\underline{C}$ erforderlichen Schwingungen, ist. Die Genauigkeit der Versuche geht aus der geringen Abweichung der einzelnen Gröfsen vom Mittelwerthe genügend hervor, und so kann also das gefundene Resultat, nämlich $\underline{C} = 67{,}2$, als ein der Wahrheit sehr nahe kommendes gelten. Hiernach gehörten für $c = 268{,}8$, für $\overline{c} = 537{,}6$ Schwingungen und nach dem gemeinhin angenommenen Verhältnisse kämen auf $\overline{a} = 896$ Vibrationen, mithin bedeutend mehr als Weber, Chladni und Dülong gefunden haben. Hällström findet dieses übereinstimmend mit der Aeufserung der Musiker, dafs die Stim-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 438. Biot Traité T. II. p. 144 ff. handelt ausführlich von diesen Stöfsen und giebt auch ein Mittel an, die Stöfse zweier Pfeifen, die um eine genau gemessene Gröfse verlängert oder verkürzt werden können, zu zählen, allein Versuche hat er nicht angestellt und daher nur ein theoretisch gefundenes Resultat mitgetheilt.

Digitized by Google

mung der Orgeln sehr hoch sey; allein die von mir in verschiedenen Gegenden Deutschlands geprüften und verglichenen hatten vielmehr eine bedeutend tiefere Stimmung, als die Orchester-Instrumente, weil jene die ältere ist, die Stimmung der letzteren aber wegen des bessern Klanges der Bogeninstrumente in der neuern Zeit merklich höher getrieben wurde.

49b) Die so eben mitgetheilten Resultate sind ausnehmend schätzbar, wenn gleich die unerwartete Höhe der Töne etwas Auffallendes hat, sie lassen aber die eigentliche Aufgabe insofern noch in einigem Dunkel, als die Stimmung der gebrauchten Orgel nicht mit derjenigen bekannter Orchester verglichen wurde. Zur Anstellung einer solchen Vergleichung würde aber erforderlich seyn, nach dem bestimmten $\underline{A}$ zunächst A, hiernach a und dann erst $\bar{a}$ rein zu stimmen, weil dieses eingestrichene $\bar{a}$ der gebräuchliche Normalton für die Orchesterstimmungen ist, eine Aufgabe, die grofse Schwierigkeiten darbietet, wenn man sich dabei auf das blofse Gehör verlassen mufs, da ohnehin die Töne der Orgelpfeifen nicht so scharf sind, um geringe Abweichungen ihrer Stimmung mit so grofser Genauigkeit wahrzunehmen, als eine definitive Entscheidung über die ihnen zugehörigen Schwingungsmengen wünschen läfst, nicht zu rechnen, dafs die durch W. Weber[1] bemerkte Verschiedenheit der Tonhöhe, die bei der nämlichen Pfeife in Folge des ungleichen Anblasens statt findet, allezeit einige Ungewifsheit erzeugen mufs[2]. Der letztere Umstand kommt zugleich rücksichtlich dieser Versuche im Allgemeinen in Betrachtung, bei denen aufserdem der Nachtheil Berücksichtigung verdient, dafs sie mit den tiefsten Tönen angestellt wurden und nicht füglich mit andern gemacht werden konnten, deren Stimmung jedoch vom Ohre keineswegs mit so grofser Genauigkeit wahrnehmbar ist, als die der mittlern Töne, ein Einwurf, welchen namentlich Dülong bei mündlicher

1 Poggendorff's Ann. XVI. 397.

2 Dafs das Ohr selbst der geübtesten Musiker die Reinheit eines Tones nicht weiter, als bis höchstens 0,02 der gesammten Vibrationsmengen zu unterscheiden vermöge, ist unbestreitbare Thatsache, deren Richtigkeit aus vielen der nachfolgenden Betrachtungen mit Sicherheit hervorgeht. Das Reinstimmen in absoluter Schärfe ist ungleich schwerer, als man gewöhnlich glaubt. Vergl. §. 52. Anm.

Digitized by Google

Unterhaltung über dieses Problem gegen die Anwendung dieser Methode im Allgemeinen geltend machte. Alle diese Schwierigkeiten hat Scheibler glücklich vermieden und ist daher zu einem Resultate gelangt, wonach die Frage über die absoluten Mengen der Vibrationen, die den Tönen unserer gebräuchlichen Instrumente zugehören, keinem weitern Zweifel mehr unterliegt.

50) Heinrich Scheibler[1], Seidenmanufacturist zu Crefeld, leidenschaftlicher Liebhaber der Musik, wurde durch das Bestreben, völlig reingestimmte Instrumente zu erhalten, durch Jahre lang fortgesetzte Versuche dahingebracht, die Stöfse zur Erreichung seines Zweckes auf eine Art anzuwenden, die nichts weiter zu wünschen übrig läfst, und es verlohnt sich daher allerdings der Mühe, die Hauptsache seiner Verfahrungsweise und der dadurch erhaltenen Resultate mitzutheilen. Ein grofser Vorzug dieser Experimente vor allen frühern dieser Art beruht auf dem Gebrauche der Stimmgabeln, die in gehöriger Vollkommenheit verfertigt unter allen Instrumenten den am schärfsten aufzufassenden und am leichtesten zu bestimmenden Ton geben und auf welche blofs die ungleiche Temperatur einen bisher für unbedeutend gehaltenen, hier jedoch allerdings berücksichtigten Einfluſs ausübt. Die gebrauchten Stimmgabeln wurden von englischem Gufsstahl (*Huntsmans-Steel*) ohne Härtung verfertigt, beide Schenkel möglichst gleichmäfsig an Stärke und Gestalt, unten mit einem nicht zu dünnen, oberflächlich zur Schraube geschnittenen Stiele c, welcher vor dem Abstimmen mit dem hölzernen Hefte b versehn wird, damit die Wärme der berührenden Hand und etwa durch das Anfassen erzeugter Rost der genauen Stimmung nicht schaden möge. Das untere dünnere Ende des Stieles d ist zu einer accuraten Schraube geschnitten, um in einen hölzernen Träger AB eingeschraubt zu werden, in dessen oberes Ende ein Stück Messing zum Einschneiden der weiblichen Schraube eingekittet wird, das untere Ende aber dient dazu, um in einen Resonanzboden oder einen geeigneten Klotz in dazu pafsliche Löcher fest eingesteckt zu werden. Solcher

Fig. 148.

Fig. 149.

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Essen 1834. 8. Eine vorläufige Anzeige der Hauptsache findet sich in Poggendorff's Ann. 1833. St. 11. XXIX. 390.

Digitized by Google

hölzerner Träger bedarf man zwei oder mehrere, um jederzeit diejenigen Gabeln hineinzuschrauben, wovon man Gebrauch machen will. Um sie zum Tönen zu bringen, werden sie mit einem Wulste aus wollenem Garn geschlagen, welcher an einem etwa 18 Zoll langen fischbeinernen Stäbchen durch Umwickeln und Durchnähen befestigt ist, und jede Gabel ist verwerflich, deren Ton nicht 30 Secunden vernehmlich anhält, bei den besten dauert er 80 Secunden. Für genaue Versuche ist erforderlich, dafs sie in einem nicht geheizten Zimmer von 15 bis 18° R. mittlerer Temperatur angestellt werden, auch darf man die nämlichen Gabeln nicht zweimal an einem Tage zur Anwendung bringen, weil sie die geringen, für so feine Messungen aber noch merklichen Temperaturerhöhungen, die sie durch die Berührung des Experimentators unvermeidlich annehmen, in langer Zeit nicht verlieren. Solcher genau abgestimmter Gabeln verfertigte Scheibler 52 für die Intervalle von a bis $\bar{a}$, die auf eine eigenthümliche Weise nach seinem Metronome so eingerichtet waren, dafs die Zahl der Stöfse aller zwischen diesen Grenzen durch die verschiedenen Intervalle erzeugten Töne genau gemessen werden konnte, aus deren Summe dann nach dem oben §. 49. angegebenen Gesetze die absolute Menge der Schwingungen von a und $\bar{\ }$ hervorging.

Das *Metronom* ist bereits oben[1] beschrieben und nach dem dabei zum Grunde liegenden Principe erläutert worden. Dasjenige, dessen sich Scheibler bediente, besteht aus einem blofsen Pendel, welches auf feinen stählernen Messerschneiden schwingend an einem Stative ohne einschliefsenden Kasten aufgehangen ist und, da ihm die Compensation fehlt, wegen Aenderung der Temperatur jederzeit für die Versuche regulirt werden mufs, wozu die Coincidenzen seiner Schwingungen mit denen des Pendels einer Uhr benutzt werden, die im ganzen Jahre keine 5 Minuten abweicht, welches für völlig genaue Coincidenzen beider Pendel die ganze Minute nicht

1 Bd. VII. S. 399. Ein seitdem bekannt gewordenes Metronom von Bienaimé zu Amiens ist eine sinnreich construirte Uhr, um die verschiedenen Tacte anzugeben. S. Bulletin de la Soc. d'Encouragement Nov. 1831. p. 475. Daraus in Dingler's Journ. Th. XLIV. S. 111.

Digitized by Google

völlig um 0,00001 ungewifs macht und daher für die Zahl der Schallvibrationen einen verschwindenden Fehler läfst. Das Pendel, aus einer Kupferstange bestehend, theilt die Minute in 50 bis 90 Theile und die auf der Stange gravirten Zahlen geben an, welche Abtheilung gerade statt findet. Ist dasselbe daher, wie bei den meisten Versuchen zu geschehn pflegt, auf 60 gestellt, so mufs es mit dem Secundenpendel der Uhr isochronisch schwingen. Zur genauen Regulirung dient die Mikrometerschraube b, wodurch die Linse höher oder tiefer gestellt wird, welches Verfahren der kleine Zeiger d erleichtert. Das obere Gewicht e wird nicht, wie gewöhnlich, verschoben, sondern vermittelst einer Mikrometerschraube f höher und tiefer gestellt, deren Umdrehungen durch einen Zeiger auf der getheilten Scheibe k gezählt werden, indem der Stift h bei jeder ganzen Umdrehung die Feder i klingen macht. Jede Vermehrung der Schwingungen um eine Einheit ist auf der Stange durch einen Strich bezeichnet, man kann hiernach also das Pendel auf 60, 61, 62 u. s. w. Schwingungen in einer Minute stellen, jede dieser Abtheilungen aber wird durch die Mikrometerschraube f vermittelst der getheilten Scheibe k wieder in 10 Theile getheilt, wodurch also Zehntel jeder einzelnen Schwingung gegeben sind, die dazu dienen, die geringsten Abweichungen der gemessenen Mengen von Stöfsen auf die kleinsten Zeittheilchen zurückzuführen und dadurch die Unterschiede der Schwingungszahlen eines gegebenen Tones und des normalen bis auf Tausendstel einer einzigen Vibration zu finden. Nach diesem Metronom wurde eine Reihe von Stimmgabeln so abgestimmt, dafs diese, die zum Unterschiede Scalengabeln heifsen, zu je zwei mit einander verglichen, bei der Stellung des Pendels auf 60 jederzeit 4 Stöfse auf jede Schwingung gaben. Einige ohne grofse Sorgfalt, ja man darf sagen nur im Rohen, von mir gemeinschaftlich mit dem Erfinder blofs auf meinem Zimmer mit den beschriebenen Apparaten angestellte Versuche haben mich von der unerwarteten Genauigkeit und Schärfe dieser Methode überzeugt, indem eine Berechnung ergab, dafs die Summe aller gröfstmöglich angenommenen Fehler keine gröfsere Ungewifsheit als von 0,13 einer Vibration zurückliefs, wonach man bei genügender Sorgfalt die Fehlergrenze auf nicht mehr als höchstens 0,01 einer Vibration setzen darf. Zwischen den Scalen-

Fig. 150.

Digitized by Google

gabeln wurden andere eingeschoben, die Mengen der Stöfse, die sie mit einander machten, gezählt, und auf diese Weise durch eine Menge Versuchsreihen, deren Mittheilung im Einzelnen hier zu weitläuftig seyn würde, folgende Mittelwerthe für den Ton $\bar{a}$ erhalten:

1) 12 Versuchsreihen von a bis $\bar{a}$	gaben	878,6666 ...
2) Die Stöfse von a bis $\bar{c}\sharp$	—	878,4470
3) Die gleichschwebenden Quinten a, $\bar{e}$ u. $\bar{c}\sharp$, $\bar{g}\sharp$	—	879,2200
4) Von a bis $\bar{e}$	—	878,5200
5) Von gleichschw. $\bar{c}\sharp$ bis $\bar{d}$	—	878,5723
6) Von gleichschw. $\bar{d}$ bis $\bar{e}$	—	878,3520

Im Mittel aus allen Versuchen kommen demnach auf das von Scheibler gebrauchte $\bar{a}$ 878,62965... oder in runder Zahl 878,63 Schwingungen, wofür man bei dem Uebergewichte der ersten, durch das Tonverhältnifs nicht afficirten Messung 878,67 setzen mufs.

Mit dieser genau bestimmten Gröfse wurden die Stimmungen der bekanntesten Orchester vermittelst der Stöfse, welche die von dort her erhaltenen Stimmgabeln mit dem normalen $\bar{a}$ gaben, verglichen. Hiernach hat dieser Ton zu Paris:

1) bei der *Opéra*, *académie de musique*	853,5
2) dieselbe, anderes Exemplar	867,5
Unterschied	14,0
3) *Conservatoire, des concerts et Italiens*	869,9
4) dieselbe, anderes Exemplar	881,4
Unterschied	11,5
5) dieselbe, älteres Exemplar	870,1.

Die Gabel Nr. 2. ist von Petitbout, *luthier de l'opéra*, und die Nr. 3. von Gand, *luthier du conservatoire de musique* (*Rue croix des petits champs*), beide sind zuverlässige, eigends für diese Vergleichung bestellte Exemplare, die also die Pariser Orchesterstimmung im Mittel das $\bar{a} = 868{,}7$ Schwingungen in einer Secunde geben.

Vom Berliner Orchester wurde nur eine einzige, für zuverlässig geltende Gabel verglichen, die 883,25 Vibrationen gab, woraus also folgt, dafs dort eine sehr hohe Stimmung üblich ist. Vom Wiener Orchester wurden 6 Stimmgabeln verglichen.

Digitized by Google

Nr. 1.	hatte	867,33
— 2.	—	872,67
— 3.	—	878,30
— 4.	—	880,20
— 5.	—	881,74
— 6.	—	889,74

Die Uebereinstimmung dieser ohne Zweifel von verschiedenen Wiener Instrumenten entnommenen Stimmgabeln zeigt die Genauigkeit und Schärfe der dort üblichen Stimmung. Als die richtigste Gabel darf die Nr. 5. betrachtet werden, die vom Professor Blahetka mit dem Bemerken herrührt, dafs sie die ächte Wiener Stimmung angebe.

Zur leichtern Uebersicht wird es nützlich seyn, die hier über die absoluten Schwingungsmengen der Töne erhaltenen verschiedenen Bestimmungen zusammenzustellen.

1) Nach L. Euler's Versuchen mit einer gespannten Saite aus der Berechnung der Länge, Dicke und spannenden Kraft hat das eingestrichene a (ā) in 1 Sec. 784 Schwingungen.

2) Nach Chladni als bequemes Mittel aus früheren Versuchen und aus dem Tone einer Pfeife von gegebener Länge hat ā 853,34 Schwingungen.

3) Nach demselben aus den Schwingungen des achten Theils eines Stabes, welcher in 1 Secunde 4 Schwingungen macht, hat ā 853,34 Schwingungen.

4) Nach Dülong nach seinen Messungen einer bei 22° C. schwingenden Luftsäule, deren Vibrationen vermittelst der Sirene gezählt wurden, hat ā 834 Schwingungen.

5) Nach Sauveur und Sarti in Folge ihrer Messungen der Stöfse bei Orgelpfeifen hat ā 872 Schwingungen.

6) W. Weber giebt ohne Erwähnung der Versuche, worauf sich diese Bestimmung gründet, für ā 864 Schwingungen an.

7) Hällström fand vermittelst der Stöfse aus den Tönen der tiefsten Orgelpfeifen für ā 896 Schwingungen.

8) Scheibler erhielt bei seinen Versuchen mit einem von Chladni angegebenen Tonometer, auf die nämliche Art, als letzterer selbst nach der unter Nr. 3. mitgetheilten Angabe, für ā 870 Vibrationen.

9) Scheibler's Stimmgabeln, die auf übliche mittlere

Digitized by Google

Stimmung abgerichtet waren, zunächst aber, der Versuche wegen, nur unter sich im gehörigen Verhältnisse seyn mufsten, gaben in Folge der Summe aller zwischen a und ā gezählten Stöfse für den letztern Ton im Mittel 878,67 oder $878\frac{2}{3}$ Schwingungen.

10) Die Stimmgabeln des Conservatoriums zu Paris geben im Mittel für ā 868,7 Schwingungen.

11) Die Berliner Orchesterstimmung ist vermuthlich so, dafs zu ā 883,25 Schwingungen gehören.

12) Die Wiener Orchesterstimmung wird am richtigsten so angenommen, dafs ā 881,74 Schwingungen hat.

Bei diesen Bestimmungen ist in denjenigen Fällen, wo nicht ā unmittelbar gemessen wurde, also bei den Nummern 1 bis 5, das Verhältnifs von $\bar{c}$ zu ā $= 3:5$ angenommen, was zwar im Allgemeinen richtig ist, dennoch eine geringe Aenderung geben würde, wenn man es etwas verschieden annehmen wollte.

51) Die so eben beschriebenen Stöfse sind leicht wahrnehmbar, wenn man sie auf die angegebene Weise künstlich hervorbringt, und nicht zu verkennen, wenn sie unerwartet zum Vorschein kommen. Bei weitem weniger ist dieses der Fall mit zwei verwandten Erscheinungen, wovon die eine, die der sogenannten *Combinationstöne*, so vollständig auf der nämlichen Ursache beruht, dafs meistens von beiden zugleich gehandelt wird[1]. Um die Sache hier zuerst im Allgemeinen deutlich zu machen, möge die Entstehung der Stöfse als bekannt vorausgesetzt werden. Sind bei diesen die Anschwellungen, die Maxima ihrer Intensitäten stark, so geben sie bei ihrer regelmäfsigen Reihenfolge unleugbar solche Pulsus, die nach der oben im Anfange dieses Artikels angenommenen Theorie einen Ton erzeugen müssen, sobald sie nur zahlreich genug in einer gegebenen Zeit erfolgen. Ist es gegründet, dafs 32 Vibrationen in einer Secunde den tiefsten wahrnehmbaren Ton geben[2], so darf ihre Zahl nicht geringer seyn, wenn ein durch sie erzeugter Ton zum Vorschein kommen

1 Dafs diese Töne nach Purkinje blofs subjectiv seyn sollen, s. Kastner Archiv. 1826. I. 39., ist weder mit der Theorie noch der Erfahrung vereinbar.

2 Das Nähere hierüber in §. 98.

Digitized by Google

soll, mithin wird man in den meisten Fällen, wenn etwa 10, 8, 4, 2, 1 oder noch weniger Stöfse in 1 Sec. erfolgen, nur diese, aber keinen durch sie erzeugten Ton hören; dagegen ergiebt eine kurze Uebersicht der bisherigen Untersuchungen, dafs sie sich allerdings häufig zeigen müssen. Wenn aber diese allgemeine Betrachtung zu dem Resultate zu führen scheint, als sey die ganze Theorie derselben höchst einfach, so ergiebt sich aus den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen derselben, dafs dieses keineswegs der Fall ist, und da insbesondere die Erfahrung nicht allezeit mit der Theorie vollkommen übereinstimmt, aufserdem die Wahrnehmung der Combinationstöne vielen Schwierigkeiten unterliegt, so will ich versuchen, die Sache nach meiner Ansicht möglichst deutlich zu machen, mufs aber zur weitern Untersuchung auf die angegebenen Quellen verweisen.

Der erste, von dem man weifs, dafs er die Combinationstöne beachtet und davon, jedoch nur im Allgemeinen, geredet hat, ist Georg Andreas Sorge[1], welcher jedoch diese und die sogenannten Nebentöne keineswegs genugsam von einander unterscheidet. Was Romieu[2] in der Akademie der Wissenschaften zu Montpellier darüber sagte, wurde wenig beachtet, desto mehr dasjenige, was Tartini[3] bekannt machte, wonach man sie später mit dem Namen der *Tartini'schen Töne* bezeichnete. Die Theorie derselben wurde zuerst gründlich entwickelt durch La Grange[4], und ausführlich handelte darüber Matthew Young[5], von dem sie *grave harmonic tones* genannt wurden. Im Anfange dieses Jahrhunders kam das Problem sowohl in England als auch in Deutschland zur lebhaften Discussion. Veranlassung dazu gab eine gehaltreiche Abhandlung von Thomas Young[6] über Schall und Licht,

1 Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke und des Claviers u. s. w. Hamb. 1744. S. 40. Dessen Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. Cap. 5.

2 Chladni Akustik S. 208.

3 Trattato di Musica secondo la vera Scienza dell' Armonia. Padova 1754.

4 Recherches sur le Son; in Miscell. Taurin. T. I. §. 64.

5 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

6 Philos. Trans. 1801. Vergl. dessen Lectures. T. II. p. 607.

Digitized by Google

worin er das Werk des Dr. Smith[1] wegen der Undeutlichkeit der Darstellung tadelte und sich hierüber eine Rüge des Prof. Robison[2] zuzog, wogegen er sich vertheidigte und dabei bemerkte, dafs die Stöfse bereits durch Sauveur entdeckt worden seyen und also nicht als eine bedeutende Erfindung des Dr. Smith gelten könnten. Als ein neuer Vertheidiger des letztern und Gegner des durch Th. Young aufgestellten Zusammentreffens (*Coalescenz*) zweier Töne trat Gough[3] auf, und veranlafste hierdurch eine Reihe von Streitschriften[4], worin er seine Theorie der zusammengesetzten Töne (*compound sounds*) vertheidigte. Die ganze Reihe dieser Abhandlungen machte Vieth[5] in Deutschland bekannt, wo man durch Chladni's gründliche Untersuchungen bereits mit dem Wesen der Sache vertraut war. Auffallend war der Vorschlag Vogler's[6], die kostbaren und unbequemen grofsen Orgelpfeifen dadurch entbehrlich zu machen, dafs man ihre Töne durch die Combination von zwei hohen erzeugte, wogegen sich jedoch der Recensent dieses Werkes[7], Chladni, Vieth u. a. erklärten, die Idee ist nie wirklich ausgeführt worden und kann auch nach dem, was bis jetzt über die Combinationstöne aus der Erfahrung bekannt ist, nie ausgeführt werden. Dafs sie nicht zu den subjectiven Erscheinungen gehören, wie Purkinje[8] annimmt, geht aus dem Gesagten genügend hervor.

Vieth scheint mir in denjenigen Bemerkungen, die er den Aufsätzen der englischen Physiker hinzufügt, die Sache ihrem Wesen nach sehr deutlich gemacht und namentlich in Beziehung auf das Praktische alles gesagt zu haben, was darüber zu wissen wichtig ist. Zuvörderst bemerkt er, dafs manche die Existenz der Combinationstöne überhaupt leugnen. Obgleich dieses durchaus irrig ist, so läfst sich doch auf der andern Seite nicht in Abrede stellen, dafs gewifs nur wenige sie jemals gehört haben, wenn sie nicht ausdrücklich darauf ach-

1 Dr. Smith Harmonics. Cambr. 1759. 8.
2 Encyclop. Brit. Suppl. Art. Temperament. p. 652.
3 Manchester Memoirs. T. V. P. II. p. 653.
4 In Nicholson's Journ. of Nat. Phil. von 1802 und 1803.
5 G. XXI. 265.
6 Handbuch der Harmonielehre. Prag 1802. 8.
7 Allgem. deutsche Biblioth. LXXXIII. S.419.
8 Kastner's Archiv 1826. Hft. 1. S. 39.

Digitized by Google

teten. Allerdings heifst es mit Recht, dafs diejenigen ein stumpfes Gehör haben müssen, die sie gar nicht wahrnehmen können, allein ohne besondere Beachtung sind sie so schwach, dafs sie neben den stärkern sie erzeugenden Tönen allzusehr verschwinden. Ihre Menge ist sehr grofs und ich führe daher nur diejenigen an, die von Vieth namhaft gemacht worden sind und die ich sämmtlich mit Erfolg hervorgebracht habe. Auf einem Forte-Piano bemüht man sich vergebens, sie zu erzeugen, blofs Bogeninstrumente und Pfeifen geben dieselben, auch soll man die tiefern Orgelpfeifen nicht zu ihrer Erzeugung anwenden, worüber ich aus Erfahrung nicht urtheilen kann, aufser dafs Dülong zwei tiefere Pfeifen, deren Töne einander sehr nahe lagen, gleichzeitig tönen liefs, um mir die Undeutlichkeit beim Zählen der Stöfse zu zeigen, wodurch ein unkenntliches, widerliches Getöse entstand. Mit Sicherheit vernimmt sie jedes nicht eigentlich stumpfe Gehör, wenn sie auf einer Geige durch starkes und etwas anhaltendes Streichen von zwei Saiten gebildet werden und man sie selbst hervorbringt oder das Ohr etwas nahe über die Saiten hält. Der am leichtesten entstehende Combinationston wird nach Vieth erhalten, wenn man die $\bar{d}$ Saite einer Geige in $\bar{e}$ stimmt und diese zugleich mit der $\bar{a}$ Saite anhaltend und gleichmäfsig streicht, wobei das tiefe A zum Vorschein kommt. Hat hierbei in Gemäfsheit der obigen Angabe §. 50. das $\bar{a}$ 880 Schwingungen, so hat $\bar{e}$ deren $0{,}75 \times 880 = 660$, und da $3 \times 220 = 660$ und $4 \times 220 = 880$ ist, so erfolgen durch beide Töne 220 Stöfse in 1 Secunde, die zu $A = \frac{880}{4}$ gehören, wenn aber erst nach 2 Coincidenzen der Schwingungen ein Stofs erfolgt, so können nur 110 solche Stöfse statt finden, die also $\underline{A}$ geben müfsten.

Auf gleiche Weise erhält man mit $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{\bar{e}}$ das c, aus $\bar{\bar{h}}$ und $\bar{\bar{d}}$ das g u. s. w. Die eigentliche Tiefe des erzeugten Combinationstones ist selbst für ein geübtes Ohr etwas schwer zu bestimmen, und wollte jemand die Versuche hierüber weiter fortsetzen, so würde rathsam seyn, sich eine nach der durch Scheibler angewandten Methode genau gestimmte Stimmgabel zu verschaffen, hiernach die Geige völlig rein zu stimmen und dann durch unmittelbare Vergleichung mit einem andern Instrumente den Combinationston mit Sicherheit auszu-

Digitized by Google

mitteln, um über die Zahl der ihn erzeugenden Stöfse unzweifelhaft zu entscheiden.

52) Man pflegt meistens das Problem der Combinationstöne ganz so einfach aufzufassen, wie es hier dargestellt ist, mindestens geschah dieses durch Chladni, welcher selbst ein Schema zur Versinnlichung des Zusammentreffens der Schwingungen bei zwei Tönen mittheilt, die im Verhältnifs von 4:5 zu einander stehn, wobei es also nur darauf ankommt, ob die Coincidenzen α, α, α.... zahlreich genug in einer Secunde erfolgen, um einen Ton zu geben, und ob sie kräftig genug sind, damit der durch sie gebildete Ton neben den beiden erzeugenden Tönen noch gehört werden könne, wobei sich von selbst versteht, dafs die Stöfse dann aufhören wahrnehmbar zu seyn, wenn ein Combinationston entsteht, denn man nimmt an, dafs ein Ton mindestens 32 Vibrationen in 1 Sec. erfordere, mehr als 10 Stöfse in einer gleichen Zeit sind aber nicht für sich unterscheidbar. Neuerdings hat der Baron Blein[1] eine Reihe von Combinationstönen bekannt gemacht, welche durch Versuche von ihm erhalten wurden und die sich nicht auf ein so einfaches Schema zurückbringen lassen. Der eine erzeugende Ton war bei allen c, dessen Schwingungsmengen = 256 in 1 Sec. angenommen und hiernach dann die des zweiten erzeugenden Tones und die aus beiden folgenden Coincidenzen als Ursache des Combinationstones berechnet werden; allein aus den vorhergehenden Untersuchungen folgt, dafs bei der Unsicherheit der Stimmung und der Unmöglichkeit, diese bis zur genauesten Schärfe durch das bloſse Gehör zu unterscheiden (wie aus der oben nachgewiesenen Verschiedenheit der Stimmgabeln bei den nämlichen Orchestern nach Scheibler evident hervorgeht), diese Bestimmung überall nicht als sicher gelten kann, durch welchen Einwurf jedoch alle hierauf gebauete Folgerungen als schwankend erscheinen müssen. Es scheint mir daher nicht zweckgemäfs zu seyn, auf eine nähere Prüfung der zwei zugleich gehörten Combinationstöne, die Blein angiebt, näher einzu- Fig. 151.

1 Exposé de quelques principes nouveaux sur l'acoustique et la théorie des vibrations, et sur l'application à plusieurs phénomènes de physique. Par le Baron Blein. Par. 1827.

Digitized by Google

gehn. W. Weber[1] erweitert die oben angegebene Theorie insofern, als er sagt, dafs das einfache Verhältnifs der Schwingungsmengen auch nur ein genähertes seyn und z. B. zwischen 5:6 und 4:5 liegen könne, in welchem Falle man bald den einen, bald den andern Combinationston hören müsse. Es lasse sich dann das einfache Verhältnifs, z. B. a:b, durch einen Kettenbruch, nämlich

$$\frac{a}{b} = \cfrac{1}{\alpha + \cfrac{1}{\beta + \cfrac{1}{\gamma} + \ldots}}$$

, ausdrücken und werde demnach das Verhältnifs a:b so wenig von $\frac{\beta}{\alpha\beta+1}$, $\frac{\beta\gamma}{\alpha\beta\gamma+\alpha+\gamma}$ abweichen, dafs in der zu so viel Stöfsen erforderlichen Zeit keine störende Abweichung sich zeige und ein Tartini'scher Ton auf gleiche Weise entstehe, als wenn das wahre Verhältnifs wirklich statt finde, jedoch ein schwacher.

Dafs es solche genäherte Verhältnisse gebe, die man bequem durch Kettenbrüche ausdrücken könne, folgt unmittelbar aus den Schwingungsgesetzen und bedarf wegen der Klarheit der Sache an sich keiner weitern Erläuterung, sofern aber eine Anwendung davon auf die Combinationstöne gemacht wird, ist wohl zu berücksichtigen, dafs diese ein anhaltendes genaues Zusammentreffen der Vibrationen nothwendig erfordern. Denn wäre ein solcher für das genaue Verhältnifs von a:b berechnet, und statt dessen das genäherte von a:b(1,001) vorhanden, so würden nach 500 Combinationen die Schwingungen des einen Tones genau zwischen die des andern fallen und keine weitere Erzeugung des Combinationstones möglich seyn. Hierin liegt die Ursache davon, dafs zu ihrer Erzeugung eine Art von Probiren unentbehrlich ist, indem man durch geringes Verrücken des Fingers auf der Saite und durch verändertes Streichen dahin zu gelangen suchen mufs, dafs das erforderliche Verhältnifs genau hergestellt werde. So leicht es übrigens ist, die Menge der Vibrationen eines Tones geometrisch genau anzugeben und hiernach sowohl die Tonverhältnisse als auch die Combinationen theoretisch zu bestimmen,

1 Poggendorff's Ann. XV. 216. Hierdurch kenne ich die angegebene Schrift.

Digitized by Google

ebenso schwer ist es, diese Zahlen in der Wirklichkeit zu erhalten, indem mitunter momentan eintretende Nebenbedingungen, die aus der Temperatur, aus der Art des Anblasens oder Streichens, den eigenthümlichen Vibrationen des Körpers des Instruments, dem Einflusse des Mittönens u. s. w. hervorgehn, den Ton an sich zwar nicht auf eine durch das bloſse Gehör wahrnehmbare Weise verändern, wohl aber so modificiren können, daſs die mathematisch abgeleiteten Folgerungen nicht weiter statt finden.

52) Die neuesten Erweiterungen hat das vorliegende Problem durch HÄLLSTRÖM[1] erhalten, welcher gegen die bisher allgemein, unter andern auch von BREWSTER[2], angenommene Theorie einige gegründete Einwürfe vorbringt. Dahin gehört hauptsächlich die Erfahrung, daſs, wenn zwei gleichklingende Töne stufenweise stets mehr auseinander weichen, die Geschwindigkeit der Stöſse ohne einen Sprung ununterbrochen wächst, statt daſs sie abwechselnd schneller und langsamer erfolgen müſsten. Wären die Schwingungszahlen zweier Töne $=2r$ und $2r+1$, so könnte durch sie nur ein Stoſs in der Secunde entstehn, bei einer geringen Veränderung aber müſsten für $2r$ und $2r+2$, also bei einem gemeinschaftlichen Divisor, mindestens zwei statt finden, jedoch zeigt sich in der Erfahrung kein Sprung, sondern stets ein allmäliger Uebergang. Ferner müſste der Ton ā, wenn man diesen zu 880 Schwingungen annimmt, mit c̄, dem hiernach 528 zukommen, nach dem Verhältniſs von 5 : 3 und der hiernach folgenden Regel $\frac{528}{3} = \frac{880}{5} = 176$ den dieser letztern Schwingungszahl zukommenden Ton F geben, wogegen aber dessen Octave f mit 352 Vibrationen gehört wird[3]. HÄLLSTRÖM stellt daher folgende, durch SCHEIBLER's

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 438.

2 Edinb. Encyclopaedia T. X. art. Harmonics. p. 641.

3 Es ist mir gleichfalls aufgefallen, daſs die Combinationstöne leicht höher sind, als sie der Theorie nach seyn sollen, der Unterschied beträgt jedoch meistens eine Octave, indem man statt G̲, G, und wie hier statt F, f hört. Was HÄLLSTRÖM weiter über das Schwankende in der Bestimmung des Verhältnisses 3 : 5 und eine statt findende Willkür bei der Bestimmung desselben sagte, wird durch die Berücksichtigung modificirt, daſs zwar dieses Verhältniſs der Theorie nach in absoluter Schärfe statt finden sollte, in der Wirklichkeit aber

genaue Versuche gleichfalls bestätigte Theorie auf. Sind r und s die Schwingungsmengen der combinirenden Töne und x die des Combinationstones, so müssen in der Zeit $= \frac{1}{x}$, die einer Schwingung des Combinationstones zugehört, zugleich $\frac{r}{x}$ und $\frac{s}{x}$ Vibrationen der combinirten Töne vollbracht werden. Es mufs ferner ein solches Verhältnifs zwischen ihnen statt finden, dafs für die Zeit $\frac{1}{x}$ der Werth $\frac{s}{x} = \frac{r}{x} + 1$ ist, oder die eine Schwingungsmenge die andere um eine Einheit übertrifft, woraus dann $x = s - r$ wird und also die Schwingungszahl des ersten Combinationstones gegeben ist, der dann wieder mit einem der erzeugenden stofsen oder einen neuen Combinationston erzeugen kann u. s. w. Hieraus entsteht für die Zahl der Combinationstöne folgendes Schema:

ursprüngliche Töne	Combinationstöne
r, s	s — r erster
s — r, r	2r — s zweiter
2r — s, s	2(s — r) dritter
2r — s, s — r	3r — 2s vierter
u. s. w.	u. s. w.

woraus jedoch nicht folgt, dafs jederzeit alle diese Combinationstöne gehört werden, vielmehr nehmen die sie erzeugenden Schwingungen an Stärke stets mehr ab, meistens wird nur der erste, selten der zweite gehört, und zwei zugleich wahrzunehmen dürfte überall unmöglich seyn. Diese Theorie stimmt sehr genau mit der Erfahrung überein, wie daraus

---

durch das blofse Gehör nicht so darstellbar ist, ohne dafs jedoch eine geringe Abweichung den aufgestellten Einwurf zu beseitigen vermöchte. Da hierüber also noch fortdauernd einige Dunkelheit herrscht, so wäre es nicht übel, die Aufgabe noch einmal und zwar mit rein gestimmten (§. 53.) Tönen, deren Schwingungszahlen also genau bekannt sind, zu untersuchen. Hierdurch würde eine Hauptschwierigkeit beseitigt. Eine andere liegt darin, dafs das Ohr jederzeit durch die beiden combinirten Töne und den Combinationston gleichzeitig afficirt wird, wovon die erstern noch obendrein weit stärker sind, als der letztere.

Digitized by Google

hervorgeht, dafs HÄLLSTRÖM fast sämmtliche theoretisch bestimmte Combinationstöne dargestellt hat. Hierzu bediente er sich einer Geige und legte bei der Berechnung die Kirnberger'schen Tonverhältnisse zu Grunde, desgleichen die durch CHLADNI angenommene Bestimmung der absoluten Schwingungszahlen, nämlich für $\bar{c} = 512$, da diese Bestimmung gleichgültig ist, sobald es blofs auf das Verhältnifs der combinirten Töne ankommt.

Digitized by Google

Nachfolgende Tabelle enthält eine Uebersicht der ursprünglichen und der daraus entstandenen Combinationstöne.

Ursprüngl. Töne.	Combinationston.	Ursprüngl. Töne.	Combinationston.
c d	e = 640	d g	g = 384
			g = 768
c d	a + = 429,3 +		
		d♯ g♯	g♯ = 404,6
c d♯	g♯ + = 809,1 +		g♯ = 809
		d♯ g	d♯ + = 303,4 +
c e	g = 768		
	c = 512	d h	g = 768
			g = 384
c f	f = 682,7	e b	c♯ = 539,4
c f♯	d♯ = 606,8		
c g♯	d♯ = 606,8 —	e c	g = 768
			c = 512
c a	f + = 682,7 +		
c b	g + = 768	f♯ a	d = 288
			a + = 858,6 +
c h	g = 768	f♯ d	a = 858,6
	g = 384		
h d	d = 576		d = 576
		f♯ h	h = 480
	g = 384		h = 960
h d	d = 576		
		g♯ h	d♯ = 606,8
h e	e = 640	h g	d = 576
			g = 384
h e	e = 640		
	e = 320	b g	d♯ + = 606,8 +
c♯ e	a + = 429,3 +		

Hierbei findet Hällström auffallend, dafs oft der erste Combinationston nicht gehört wird, statt dessen aber der zweite und selbst der dritte, vierte oder fünfte, was auf ihrer eigenthümlichen Höhe und der Empfänglichkeit des Ohrs

Digitized by Google

für diese, desgleichen auf ihrer Consonanz mit den erzeugenden Tönen beruht. Wenn endlich bei manchen Combinationstönen Bruchtheile von Schwingungen vorkommen, die sich bei jeder Wiederkehr summiren und dadurch eine Ungleichheit erzeugen müssen, so erklärt sich dieses leicht aus den nicht absolut genauen Schwingungszahlen, die irgend einem Tone zugehören, insofern man beim Stimmen bemerkt, wie schwer es hält, einen Ton absolut rein vermittelst des bloſsen Gehörs zu erhalten.

53) Es folgt aus dem Vorhergehenden von selbst, daſs man die Stöſse und deren Anzahl in einer Secunde insbesondere auch dazu benutzen könne, um Instrumente vollkommen rein zu stimmen. Ist nämlich das Verhältniſs, welches zwischen den Tönen statt finden soll, gegeben, so folgt hieraus die Zahl der Stöſse, die beide zusammen in 1 Sec. oder nach einem Metronom, welches für jedes Paar Töne eigends gestellt werden kann, geben müssen, und man darf daher den zu stimmenden Ton nur so lange richten, bis die erforderliche Zahl der Stöſse zum Vorschein kommt, wodurch er dann die richtige Stimmung bis auf weniger als 0,01 einer Schwingung innerhalb einer Secunde oder des durch das Metronom gegebenen Zeitintervalles erhalten wird. Da diese Aufgabe theoretisch so einfach ist, so verweile ich nicht länger dabei und verweise wegen der praktischen Anwendung auf die ausführliche Anleitung, die Scheibler darüber mitgetheilt hat [1].

---

1 Es scheint mir nicht unwichtig, hier beiläufig zu bemerken, daſs man jetzt durch den Mechanicus H. Kämmerling zu Crefeld Stimmgabeln erhalten kann, die den Ton ā mit 880 Vibrationen genau geben, wodurch es also möglich wird, die bisherige Ungleichheit der Orchesterstimmungen zu beseitigen. Uebrigens habe ich mich durch Erfahrungen überzeugt, daſs ein im Stimmen sehr geübter Instrumentmacher nach einer solchen Gabel den Ton eines Forte-Piano völlig unison gestimmt zu haben glaubte, es ergab sich aber dennoch, aller Aufmerksamkeit ungeachtet, noch eine Differenz von einigen Vibrationen. Um daher rein zu stimmen, muſs man nicht die eigentliche Stimmgabel des zu stimmenden Tones, sondern eine solche anwenden, die mit diesem in einer bestimmten Zeit eine bekannte Menge von Stöſsen (4 in 1 Secunde) giebt. Wird dann der Ton so gestimmt, daſs er mit der Hülfsgabel genau die erforderliche Zahl von Stöſsen giebt, so ist er absolut rein, und es kostet nur geringe

Digitized by Google

54) Bei der Untersuchung der Combinationstöne kommen die ihnen verwandten *Nebentöne* um so mehr in Betrachtung, als es leicht geschehn könnte, dafs beide mit einander verwechselt und letztere für die erstern gehalten würden. Man bezeichnet mit diesem Namen alle diejenigen Töne, die oft neben dem eigentlichen Haupttone zum Ohre gelangen und sich durch die gröfsere Höhe kenntlich machen. Sie zeigen sich so häufig und sind aus wenigen Beispielen so kenntlich, dafs es nur einer kurzen Angabe derselben bedarf, und dieses um so mehr, als schon §. 11. von den *Flageolettönen* und der *Aeolusharfe* gehandelt worden ist, wobei ähnliche Erscheinungen und Gesetze in Betrachtung kommen. Aufserdem ist oben Abschn. C. erläutert worden, auf welche Weise durch erzeugte primäre Schallwellen ähnliche secundäre in andern benachbarten oder verbundenen Körpern erzeugt werden, die den eigenthümlichen Klang des hervorgebrachten Tones bedingen. Endlich ist bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. und Scheiben §. 33. bereits nachgewiesen worden, dafs es aufser den die Erzeugung des Tones ganz eigentlich bedingenden Haupt- oder primären Schwingungen noch andere giebt, die zwar vorläufig blofs als den Hauptton modificirend betrachtet wurden, aber auch leicht als selbst Töne erzeugend vorstellbar sind. Nimmt man alles dieses zusammen, so folgt, dafs neben dem Haupttone leicht Nebentöne entstehn können, sobald entweder die erzeugten Oscillationen andere Körper in Bewegung setzen, die vermöge der obwaltenden Bedingungen zu solchen Schwingungen geneigt sind, deren Zahlen zu denen der Hauptschwingungen in einfachen Verhältnissen, z. B. der Quinte, Octave, Doppelquinte, Doppeloctave u. s. w., stehn, oder wenn die tönenden Körper selbst durch den erhaltenen Impuls aufser den Hauptabtheilungen noch in Unterabtheilungen, die gleichfalls den genannten Tönen zugehören, getheilt und gleichzeitig in vernehmbare Schwingungen versetzt werden. Es ist also blofs noch erforderlich, aus der Erfahrung nachzuweisen, dafs solche Nebentöne bei Schwingungen sowohl fester als auch expansibler Körper wirklich statt finden.

Schwierigkeiten, dieses zu bewerkstelligen. Für das gewöhnliche Stimmen ist diese Genauigkeit unnöthig. Vergl. §. 49. Anm.

Digitized by Google

Mit Uebergehung derjenigen Töne, die zum gemeiniglich sogenannten Mittönen gehören, wenn geeignete Körper durch den Einfluſs der Schallschwingungen eines Haupttons in Vibrationen versetzt werden, die zu jenen in einfachen Verhältnissen stehn und häufig bis zu derjenigen Stärke wachsen, daſs man sie mit den Augen wahrnimmt und das Ohr die dadurch erzeugten Töne nicht selten deutlich hört, wie sich dieses häufig namentlich beim Forte-Piano zeigt, kann hier hauptsächlich nur von solchen Tönen die Rede seyn, die man weniger erwartet und deren Entstehungsgrund sich minder leicht nachweisen läſst. Hierher gehören vorzüglich die Nebentöne der menschlichen Stimme, von denen bereits SORGE[1] redet, wenn er sagt: „Man höre in einer groſsen Kirche einem Prediger, der eine starke Stimme hat, genau zu, so „wird sich allemal wenigstens die Octave und die Quinte mit „hören lassen.“ Ungleich interessanter und genauer beschrieben sind die Erfahrungen, die VIETH[2] von sich selbst mittheilt, nämlich daſs er in der Stille der Nacht nicht die eigentliche sonore Stimme des Nachtwächters hörte, welcher hierzu in der langen Straſse ihm nicht nahe genug war, wohl aber eine sehr hohe, bald die Quinte, bald die Octavquinte oder die Duodecime von jener, die später ausblieb, wenn der Nachtwächter nahe genug war, um dessen eigentliche Töne deutlich zu vernehmen. Ebendieses Phänomen zeigte sich bei dem schnarrenden Tone des Horns eines andern Nachtwächters, dem ein feiner Flageoletton vorausging. VIETH findet es auffallend, daſs diese hohen Nebentöne in gröſserer Ferne gehört werden, als die tiefern Haupttöne, was allerdings mit der oben §. 40. erwähnten Erfahrung SAVART's nicht übereinstimmt, wonach die Wirkung der secundären Schwingungen in der Entfernung verschwindet. Der Grund dieser anscheinend widersprechenden Erscheinungen liegt vermuthlich in der verhältniſsmäſsigen Höhe der Töne, indem die Nebentöne in SAVART's Versuchen von gleicher oder geringerer Höhe waren, als die Haupttöne, bei VIETH's Beobachtungen aber von weit gröſserer Höhe, die daher sich leichter auf gröſsere Fernen fortpflanzen, als die beträchtlich tiefern, die allezeit starke Wellen erfordern, wenn sie hörbar seyn

1 Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. §. 7.

2 G. XXI. 268.

Digitized by Google

sollen, da es so schwer fällt, solche Töne überhaupt zu erzeugen, die von dünnen Körpern auch bei wirklich vorhandenen langsamen Vibrationen gar nicht wahrnehmbar zu seyn pflegen, wie die einer Glasröhre zeigen, die man nur vermittelst der stärkern Fortleitung durch einen gespannten Faden hört.

Von den Nebentönen, als erzeugt durch eigenthümliche Vibrationen der Saiten, redet Thom. Young[1] im Allgemeinen, und von denen, die einem guten Ohre sehr vernehmbar eine tiefe Bafsstimme zu begleiten pflegen, insbesondere mit Beziehung auf Bemerkungen von Knecht, findet man interessante Untersuchungen in der Leipziger musikalischen Zeitung, begleitet von dem Wunsche, dafs genauere Beobachtungen ihre Entstehung mehr aufklären möchten. Auch von Busse[2] hat sich über sie geäufsert, und Chladni beschreibt diejenigen, die namentlich bei Blaseinstrumenten zum Vorschein kommen, wenn die Art des Anblasens zwischen denen, die zur Hervorbringung des einen und des andern erforderlich sind, ungefähr die Mitte hält. Es können dann bei offenen Pfeifen nur solche Töne beisammen seyn, die mit den geraden Zahlen, und bei gedeckten nur solche, die mit den ungeraden übereinkommen.

Aus dieser Angabe scheint hervorzugehn, dafs die Doppeltöne, wie man die verbundenen Haupt- und Nebentöne nennen könnte, dann erzeugt werden, wenn der schwingende Körper in unmefsbar kleinen Zeitintervallen abwechselnd diejenigen Impulse erhält, die sowohl dem einen als auch dem andern beider Töne zugehören, und daher die Schwingungen beider ohne merkliche Unterbrechung fortdauern. Hiermit stimmt überein, was Vieth[3] sagt, nämlich dafs ihm früher, als er das Waldhorn erlernte, die Doppeltöne zum Verdrufs sehr gut gelangen, dafs er sie aber später nicht mehr hervorbringen konnte. Geübte Künstler auf diesem Instrumente, die ich darum gefragt habe, gaben mir zur Antwort, dafs es sehr schwer sey, Doppeltöne auf demselben hervorzubringen, und höchstens gelange man durch viele Mühe dahin, neben dem

1 Phil. Trans. 1800. Lectures T. II. p. 548. 550.
2 Beiträge zur Mathematik und Physik. St. X. S. 131.
3 G. XXI. 270.

Digitized by Google

Haupttone noch die Quinte oder die Octave schwach hörbar zu machen. Die Trompete des Automaten, welchen der bekannte Kaufmann aus Dresden um 1818 hören liefs, gab ganz entschieden und für jeden unverkennbar gleichzeitig zwei Töne, allein dieses geschah dadurch, dafs zwei ungleiche Mundstücke in die nämliche Trompete mündeten. Auch Mälzel's Automat-Trompeter gab gleichzeitig zwei Töne mit der nämlichen Trompete an, und Chladni[1] erkannte die Art, wie dieses geschah, aus dem Mechanismus, welchen der Erfinder ihm zeigte. Hierdurch ist also erwiesen, dafs in einem und demselben Instrumente zwei auf verschiedene Weise schwingende Luftsäulen neben einander bestehn können, ohne sich wechselseitig zu stören. Theoretische Untersuchungen über die Nebentöne, deren Vorhandenseyn man schon in ältern Zeiten nicht bezweifelte, haben bereits Cartesius[2], Mersenne[3], Dan. Bernoulli[4], Math. Young[5], Giordano Riccati[6] und andere angestellt, Biot und Hamel aber haben sie bei ihren später zu erwähnenden Versuchen über die möglichen Abtheilungen einer schwingenden Luftsäule so deutlich wahrgenommen[7], dafs ihre wirkliche Existenz keinem Zweifel unterliegt.

55) Nach den vorhergehenden Untersuchungen entsteht also die Empfindung des Schalles durch die Wahrnehmung der in gleichen Zeitintervallen regelmäfsig wiederkehrenden Vibrationen, die die Gehörnerven treffen, und die Unterscheidung der verschiedenen Töne beruht auf der Wahrnehmung der ungleichen Mengen dieser das Ohr in gleichen Zeiträumen treffenden Schwingungen, wonach dieses ganze Problem auf eine Operation mit Zahlengröfsen hinauskommt, wie schon Leibnitz[8] als höchst auffallend bemerkte. Die Höhe und Tiefe eines einzelnen isolirten Tones ist für sich nicht wahrnehmbar, die Anzahl der ihm zugehörigen Schwingungen ist daher

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4. S. 65.
2 Epist. P. II. ep. 75. 106.
3 Harmonie universelle. Par. 1636.
4 Comm. Pet. T. XV. u. T. XIX.
5 Enquiry into the principal phaenomena of Sounds. P. II.
6 Delle corde ovvero fibre elastiche. Sched. IV.
7 Biot Traité. II. 131.
8 Epist. ad diversos. T. I. ep. 154.

Digitized by Google

willkürlich; blofs sehr geübte oder mit aufserordentlicher musikalischer Feinheit begabte Ohren vermögen diese zu unterscheiden, wie unter andern von Mozart erzählt wird; jedoch ist die Grenze, bis zu welchem Unterschiede in der Zahl der Vibrationen dieses reicht, noch nicht bestimmt. Ungleich leichter dagegen ist es, die Unterschiede der einzelnen Töne und ihre Verhältnisse wahrzunehmen, aber auch hierbei findet eine grofse Ungleichheit statt rücksichtlich der gröfseren oder geringern Feinheit verschiedener Ohren, die durch Uebung bedeutend erhöht werden kann.

Für die verschiedenen Töne ist blofs ein einziges feststehendes Verhältnifs gegeben, nämlich das der Octave, welcher allezeit die doppelte Zahl der Schwingungen zugehören. Wie viele Töne zwischen diese beiden gelegt werden, darüber ist aus der Natur der Sache keine feste Regel zu entnehmen. Wäre das Ohr im Stande, den Unterschied zu empfinden, welchen eine einzige Schwingung erzeugt, und dürften die durch Chladni angenommenen Vibrationsmengen als genau gelten, so könnten zwischen dem tiefsten Tone von 32 Schwingungen und seiner Octave nur 31 Töne eingeschoben werden, deren Zahl dann bei jeder folgenden Octave verdoppelt würde. Diese Betrachtungen, die zur Bildung eines neuen Tonsystems führen würden und durch die Mängel, die manche bei dem bestehenden zu finden glauben, entschuldigt werden könnten, scheinen mir jedoch ganz überflüssig zu seyn, da bisher noch kein besseres, aus der Natur der Sache theoretisch abgeleitetes, aufgestellt worden ist und mit der Einführung desselben alle vorhandene Compositionen untergehn würden, ein Verlust, der schwerlich durch einen gleichen Gewinn compensirt werden könnte. Das bestehende ist insbesondere auf die vortheilhafte Bedingung gegründet, dafs es einige sehr einfache und andere minder einfache und leicht verständliche mit einander verbindet. Ob es noch andere Tonsysteme giebt, kann ich für jetzt nicht auffinden; nach einer allgemeinen Angabe existirt ein solches bei den Indiern, deren *Grama* oder Tonleiter die Octave in 25 Töne theilen soll[1].

---

1 Asiatic Researches T. IX. N. 9. Vergl. Forkel Allgemeine Geschichte der Musik. Leipz. 2 Bde. 8. Vorschläge zu andern Abtheilungen sind verschiedene gemacht worden, z. B. Sabbatini in Kirchers

Digitized by Google

56) Jeder Ton heifst in Beziehung auf sein Verhältnifs zu irgend einem andern Tone der *Grundton* und das Verhältnifs zwischen zwei Tönen ein *Intervall*; letzteres ist wieder ein *consonirendes*, wenn es in einfachen ganzen Zahlen ausgedrückt werden kann, im entgegengesetzten Falle ein *dissonirendes*. Die Vereinigung mehrerer Töne heifst ein *Accord*, welcher gleichfalls consonirend ist, wenn blofs solche Intervalle darin vorkommen, oder dissonirend; der einfachste Accord ist der *harmonische* Dreiklang, welcher aus dem Grundtone (der *Tonica*), der Tertie und Quinte besteht, wozu man meistens noch die Octave nimmt. Nach dem üblichen Tonsysteme enthält nämlich jede Octave, die man mit C anzufangen gewohnt ist, zwischen dem Grundtone und dessen Octave noch 11 Töne, von denen die 6 zu den untern Tasten gehörigen mit Unrecht ganze und die zwischenliegenden der obern Tasten halbe genannt werden. Das Fortschreiten von einem Tone zu den folgenden einer oder nach einander mehrerer Octaven nennt man *Tonleiter*, und wenn darin blofs jene 6 ersten vorkommen, eine *diatonische*, wobei das Fortschreiten in einer solchen auch *diatonische Fortschreitung* genannt wird. Auf gleiche Weise giebt es eine *chromatische Fortschreitung*, wenn sie von den untern zu den obern oder umgekehrt durch die nebeneinander liegenden Töne statt findet, und eine *enharmonische*, wenn sie zwischen einem durch Erhöhung entstandenen und dem nächsten durch Erniedrigung gegebenen, also von cis zu des, statt findet; beide werden auch Tonleitern genannt.

Die älteste Bezeichnung der Töne ist die italienische durch Guido von Arezzo aus dem 11. Jahrhunderte, erstreckt sich blofs auf die 6 ersten Töne der diatonischen Tonleiter und heifst *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, weil sie aus den Anfangs-

---

Musurgia T. I. schlug 36 Töne vor, Huygens 31, Henfling in Miscell. Berol. T. X. p. 150. empfiehlt 50, Berlin in seiner 1767 erschienenen Tonometrie 36, andere 55, Sauveur in Mém. de l'Acad. 1701 bringt sehr zusammengesetzte Abtheilungen in Vorschlag u. s. w. Die grofse Allgemeinheit und das seit so langer Zeit behauptete Ansehn des bestehenden Tonsystems entscheidet sehr für dessen Güte und Naturgemäfsheit. Eine Uebersicht der einfachsten Harmonie durch Octave, Quinte und Tertie giebt L. Euler in Nov. Comm. Pet. XVIII. 333.

Digitized by Google

sylben der halben Verse an Johannes den Täufer entnommen ist, nämlich

ut queant laxis *re*sonare fibris
*mi*ra gestorum *fa*muli tuorum,
*sol*ve polluti *la*bii reatum
Sancte Johannes.

Diese Benennung ist auch zu den Franzosen übergegangen, und in beiden Ländern kommt dann noch der siebente Ton, *si* genannt, hinzu. Eine Erhöhung zum nächsten Tone wird dann durch *dièse*, eine Erniedrigung durch *bémol* bezeichnet, woraus die Zeitwörter *dièser* und *bémoliser* entstanden sind. Die Bezeichnung geschieht durch das anderweitig übliche Kreuz und ein beigesetztes b, also z. B. ut♯ und mi♭, welches heifsen würde *ut dièse* und *mi bémol;* die verschiedenen Octaven aber werden, von der ursprünglichen ausgehend, durch unten beigesetzte Zahlen, und zwar positive beim Fortschreiten zu gröfserer Höhe, negative aber beim Rückgange zu tieferen, bezeichnet, wonach es also z. B. ein ut_1, ut_2, ut_3.... und ein $ut\_\__1$, $ut\_\__2$, $ut\_\__3$..... giebt. Bei den Deutschen, Holländern, Engländern und den meisten übrigen Völkern bezeichnet man die Töne durch Buchstaben und die Erhöhungen deutsch durch ein angehängtes *is*, die Vertiefungen durch ein angehängtes *es*, bei den Engländern geschieht ersteres durch *sharp*, letzteres durch *flat*, bei den Holländern durch *kruis* und *mol*; alle gebrauchen aber gemeinschaftlich das Kreuz (♯) und das b, beide rechts schräg über dem Buchstaben oder links oberhalb vor der Note, und beide werden durch ein sogenanntes *Bequadrat* (♮) wieder aufgehoben. Endlich erhalten die verschiedenen Octaven ihre Bezeichnung durch die Gröfse der Buchstaben und durch die Zahl der Querstriche, die unter oder über die Buchstaben gesetzt werden. Jede Note kann durch ein Kreuz zum nächstfolgenden Tone erhöht und durch ein b vertieft werden, auch erhöht ein Doppelkreuz (♯♯) zum nächst-nächstfolgenden, so wie ein Doppel-b (♭♭) auf gleiche Weise tiefer macht, welche beide durch ein Doppel-Bequadrat (♮♮) wieder aufgehoben werden.

Auf welche Weise in Gemäfsheit des leichten Auffassens der Verhältnisse, in denen die gebräuchlichen Töne zu einander stehn, die bestehende Abtheilung derselben entstehn

Digitized by Google

konnte und auf welche Weise sich zugleich ein Grund zur Bezeichnung durch ganze und halbe Töne erkennen läfst, hat H. W. Brandes[1] auf eine sehr einfache und lichtvolle Weise gezeigt. Das am leichtesten wahrnehmbare Verhältnifs ist das von 1 zu 2, welches die Octave giebt, allein eben dieses ist zu einfach, giebt nicht genug Aufregung, und die Octave dient daher nur hauptsächlich zur Unterstützung des Haupttones (des Grundtones) dann, wenn wir sonstige Töne mit demselben verbinden. Ein sehr leichtes und zugleich angenehmes Verhältnifs dagegen giebt das von 2 zu 3 oder die Quinte, wonach wir also zum Grundtone noch die Quinte erhalten, und da man der leichteren Uebersicht wegen zu ersterem c zu wählen pflegt, so gäbe dieses also c und g. Zwischen beiden liegt ein Verhältnifs in der Mitte, nämlich e mit 5 Schwingungen, wenn c deren 4 und g deren 6 hat, wir erhalten also durch 4,5 und 6 die Töne c, e, g oder den *harmonischen Dreiklang*, welcher mit der Octave verbunden den leichtesten, reinsten und angenehmsten Accord giebt[2]. Wir erhalten also

c, e, g, $\bar{c}$.
1 $\frac{4}{4}$ $\frac{5}{4}$ 2

Sucht man heruntergehend ein gleich einfaches, aber in Folge des Heruntergehens ein umgekehrtes Verhältnifs als das erste

---

1 Vorlesungen über die Naturlehre. Th. I. S. 298. Es scheint mir an der sehr gelungenen Darstellung nur das Einzige auszusetzen zu seyn, dafs Brandes die über die Octave hinausgehenden Verhältnisse zu Hülfe nimmt, die jedoch auf das Ohr bei weitem keinen so leicht verständlichen und angenehmen Eindruck hervorbringen. Ich habe dieses daher möglichst vermieden.

2 Wie angenehm der reine harmonische Dreiklang dem Ohre sey, davon habe ich mich bei sehr vielen Personen, auch solchen, die gar nicht musikalisch waren, vollkommen überzeugt. Man erhält denselben aber nur vermittelst mathematisch reiner Scheibler'scher Stimmgabeln. Auch hierbei gelangt man zu der Ueberzeugung, wie wenig das Ohr die absolute Reinheit der Töne zu unterscheiden vermag. Wendet man nämlich Stimmgabeln an, die nach dem blofsen Gehöre rein gestimmt sind, so zeigen die bei ihrem Zusammentönen entstehenden Stöfse augenfällig ihre Unreinheit, der harmonische Dreiklang derselben ist dann aber weit weniger angenehm, als der von mathematisch reinen, wie sich bei der Vergleichung beider sehr bald zeigt. Auf dieser von selbst bedingten Reinheit der Töne beruht auch zum Theil die Annehmlichkeit der Töne bei der Aeolsharfe.

Digitized by Google

zwischen c und g = 1 und $\frac{3}{2}$, so ergiebt sich zu $\bar{c}$ als Einheit f = $\frac{2}{3}$, welches zugleich zum Grundtone sehr einfach ist. Somit kommt

c, e, f, g, $\bar{c}$.
1 $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ 2

Zunächst erhält g gleichfalls seinen vollständigen Dur-Accord, seinen harmonischen Dreiklang in der Tertie h und der Quinte $\bar{d}$, die vertieft zu d wird, und man erhält also

c, d, e, f, g, h, $\bar{c}$.
1 $\frac{9}{8}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{15}{8}$ 2

Zwischen g und h ist das nämliche Verhältnifs, als zwischen c und e, nämlich $\frac{3}{2} : \frac{15}{8} = 1 : \frac{5}{4}$, und zur Vervollständigung der Dur-Tonleiter mufs also a eingeschaltet werden, welches giebt

c, d, e, f, g, a, h, $\bar{c}$
1 $\frac{9}{8}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{15}{8}$ 2

Vergleichen wir diese Intervalle unter einander, so zeigt die folgende Zusammenstellung

c d e f g a h $\bar{c}$
1 $\frac{9}{8}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{15}{8}$ 2
$1 : \frac{10}{9}$
$1 : \frac{16}{15}$
$1 : \frac{9}{8}$
$1 : \frac{10}{9}$
$1 : \frac{9}{8}$
$1 : \frac{16}{15}$

dafs von c zu d = $1 : \frac{9}{8}$, von d : e = $1 : \frac{10}{9}$ beinahe gleich ist, wogegen von e : f = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als die Hälfte der vorigen beträgt. Ebenso sind von f zu g = $1 : \frac{9}{8}$, von g zu a = $1 : \frac{10}{9}$, von a zu h = $1 : \frac{9}{8}$ wieder beinahe gleich, von h zu $\bar{c}$ aber = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als halb so grofs, weswegen die grofsen Fortschreitungen Intervalle eines ganzen Tones, die kleinern aber eines grofsen halben Tones genannt werden.

Diese Tonleiter ist zwar für c vollständig, allein sie mufs auch eine gleiche Vollständigkeit für jeden andern in ihr enthaltenen Ton haben, sobald man diesen als Grundton betrachtet. Wird hierzu g gewählt und die Tonleiter zuerst hierfür fortgesetzt, so wird aus der für c

Digitized by Google

c,	d,	e,	f,	g,	a,	h,	$\overline{c}$,	$\overline{d}$,	$\overline{e}$,	$\overline{f}$,	$\overline{g}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3

die für g als Grundton gebildete

g,	a,	h,	c,	d,	e,	f,	$\overline{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{16}{9}$	2

Hierin ist zuerst der harmonische Dreiklang genau so, wie im c-dur Accorde, alle Töne haben ein ähnliches Verhältnifs (mit der geringfügigen Ausnahme von g zu a, die aber verschwindet, weil sie zwischen dem harmonischen Dreiklangs-Verhältnisse liegt), aber vor dem Uebergange zur Octave, also zu $\overline{g}$, sollte als wesentlich nur ein grofser halber Ton vorhergehn, auf e aber ein ganzer Ton folgen; es mufs also f übersprungen und statt dessen fis seingeschaltet werden. Diesemnach erhält man

g,	a,	h,	c,	d,	e,	fis,	$\overline{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

eine mit der für c *dur* bis auf eine unmerkliche Verschiedenheit übereinstimmende Tonleiter. Würden diese Betrachtungen weiter fortgesetzt, so liefse sich dadurch zeigen, wie die übrigen, eben deshalb halbe Töne genannt, eingeschaltet werden mufsten. Um dieses schnell zu übersehn, darf man nur die Verhältnisse berücksichtigen, aus denen die für c und g gegebenen Tonleitern in *dur* bestehn, wie diese hauptsächlich in dem obigen Schema für c *dur* gegeben sind, welches die Verhältnisse der einzelnen Töne zu einander ausdrückt. Die Tonleiter enthält nämlich nach der Tonica zuerst zwei ganze Töne (d und e), dann einen grofsen halben Ton (f), dann drei ganze Töne (g, a und h) und von diesem zuletzt wieder einen Uebergang zur Octave durch einen grofsen halben Ton. Nehmen wir also f als Tonica, so hat dieses in g und a zwei ganze Töne; dann soll aber ein grofser halber Ton folgen, welcher durch h nicht gegeben wird, weswegen zwischen a und h ein solcher durch b eingeschaltet werden mufs. Die Tonart f *dur* hat daher nur ein b als Vorzeichnung. Die Fortschreitung von c *dur* zum Accorde von seiner Quinte g erforderte für letzteren ein Kreuz; wird also von g abermals zur Quinte bis $\overline{d}$ fortgeschritten und hierfür d substituirt, so müssen in d *dur* alle Töne von g *dur* liegen, aufser dafs der vor $\overline{d}$ vorhergehende Ton ein grofser halber Ton

Digitized by Google

seyn muſs, was also cis erfordert, und d *dur* erhält sonach zwei Kreuze cis und fis. Auf gleiche Weise gelangt man von d zur Quinte a, und eine gleiche Betrachtung zeigt, daſs sonach a *dur* drei Kreuze, cis, fis und gis, haben müsse; die Quinte von a ist e, und e *dur* erhält demnach vier Kreuze, wie aus gleichem Grunde h *dur* deren fünf und, ungeachtet es nicht mehr sogenannte halbe Töne unter den Tasten giebt, doch fis *dur* deren sechs und cis *dur* deren sieben erhalten muſs.

Rücksichtlich der *Dur*-Tonleitern, in denen die Vorzeichnung durch ein oder mehrere b geschieht, findet ein auf dem Verhältnisse der Töne beruhendes gleiches Gesetz statt, und da die Kenntnisse dieses und des vorhergehenden das Behalten der Vorzeichnungen erleichtert, so pflegen diese Elemente des *Generalbasses* von guten Musiklehrern gleich anfangs den Schülern bekannt gemacht zu werden. Es ist so eben gezeigt worden, daſs, um eine mit c *dur* gleiche Tonfolge zu erhalten, für f *dur* ein b vorgezeichnet werden muſs. Der Ton f ist aber die Unterquinte von $\overline{c}$, und nimmt man also abermals die Unterquinte von f, so gelangt man zu B, welches demnach zwei b vorgezeichnet erhalten muſs. Zu ebendiesem Resultate gelangt man durch die Betrachtung der Tonfolge gleichfalls. Es folgen nämlich auf die Tonica B zwei ganze Töne, c und d, dann muſs ein groſser halber Ton folgen, weswegen nicht e, sondern durch Vertiefung mittelst eines b der groſse halbe Ton es (e^b nicht $d\sharp$) erfordert wird, auf welchen richtig die ganzen Töne f, g und a folgen, letzterer als groſser halber Ton von der Octave b. Die Unterquinte von b giebt es, und sonach muſs es *dur* drei b zu Vorzeichen haben, wir auch aus der Betrachtung der Tonfolge hervorgeht. Auf die Tonica es folgen nämlich f und g, und um dann den groſsen halben Ton zu erhalten, kann nicht der ganze Ton a folgen, sondern dieser muſs um einen halben vertieft werden, also aës oder as (a^b) seyn, woraus zugleich ersichtlich wird, weswegen der nämliche Zwischenton zwischen g und a bei a *dur* durch gis, bei es *dur* aber durch as bezeichnet wird. Auf as folgen die ganzen Töne b, c und d, letzterer als groſser halber Ton vor der Octave. An diesem Beispiele läſst sich aufserdem der Unterschied der verschieden bezeichneten sogenannten halben Töne, der durch ein Kreuz erhöheten und der durch ein b erniedrigten, zeigen. Bei a *dur* nämlich

Digitized by Google

wird nach fis ein ganzer Ton erfordert, g mufs daher zu gis ($g^{\#}$) erhöht werden; bei es *dur* aber soll a zu einem grofsen halben Tone as (a^{b}) erniedrigt werden, und es ist also ein Unterschied zwischen gis und as. Nach der oben angegebenen Bezeichnung durch Zahlen sollte gis für a *dur* durch $\frac{15}{16} \times \frac{5}{4}$ und as durch $\frac{16}{15} \times \frac{3}{2}$ ausgedrückt werden, welches auf gleiche Nenner gebracht für gis $\frac{125}{80}$ und für as $\frac{128}{80}$ Schwingungen gäbe. Rücksichtlich der *Dur*-Tonarten mit Vorzeichnungen von b läfst sich nach dem Vorhergehenden leicht finden, dafs f *dur* ein b, b *dur* zwei, es *dur* drei, as *dur* vier, des *dur* fünf, ges *dur* sechs und ces *dur* sieben b zur Vorzeichnung hat.

Die *Moll*-Tonarten lassen sich auf gleiche Weise übersichtlich darstellen. Die Eigenthümlichkeit der *Dur*-Tonarten zeigt sich in demjenigen Verhältnisse, welches bei ihnen den harmonischen Dreiklang bildet, wonach das der Tonica zu der grofsen Tertie und der Quinte durch die Zahlen 4:5:6 ausgedrückt werden kann, und vielleicht giebt der rasche Fortgang vom Grundtone durch zwei ganze Töne derselben ihre Eigenthümlichkeit. Das Intervall von der Tonica zur Quinte besteht aus zwei Tertien, wovon die erste die grofse, die zweite die kleine ist, wie das Verhältnifs 4:5 und 5:6 ausdrückt. Werden beide Verhältnisse gleich gemacht, wird dadurch das raschere Fortschreiten angehalten, so wird die Tonart etwas schwerfalliger; sie wird weicher, zur Moll-Tonart, wobei die Intervalle $4 : \frac{24}{5}$ und $\frac{24}{5} : 6$ sind. Bei aufsteigender Tonfolge ist hierdurch allein der Unterschied der weichen Tonart von der harten gegeben, denn aufser dieser kleinen Tertie ist von c aus die Tonfolge für *dur* und für *moll* gleich, beim Herabsteigen aber ist der Uebergang von der Tonica zu zwei ganzen und dann einem grofsen halben Tone erforderlich. Für c *moll* hat man daher aufsteigend c, d, es, f, g, a, h, $\bar{c}$, herabsteigend dagegen $\bar{c}$, b, as, g, f, es, d, c. Die letztere Reihenfolge, die durch die kleine Tertie statt der grofsen in *Dur* bedingt ist, mufs sich also ohne Vorzeichnung in der gewöhnlichen Tonreihe befinden, sobald man um eine kleine Tertie herabgeht, also von c zu A; denn hierbei hat man von der Tonica A einen ganzen Ton in H, dann einen grofsen halben Ton in c, demnächst lauter ganze Töne in d und e, von diesem einen übermäfsigen in fis und endlich einen

Digitized by Google

ganzen in gis, von welchem der Uebergang zur Octave a erfolgt, statt dafs beim Herabsteigen die Tonleiter von a durch g, f, e, d, c, H zu A ohne eine Vorzeichnung fortgeht. Sind dann die Schwingungsmengen von C ausgehend

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$

so werden sie für die Octave von A ausgehend

A	H	c	d	e	f	g	a
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{27}{20}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{9}{5}$	2

worin $\frac{27}{20}$ nur wenig von $\frac{4}{3}$ verschieden ist. Hat also die harte Tonleiter von c aus die nämliche Tonfolge, als die weiche von a anfangend, so ergiebt sich aus dem Vorhergehenden, dafs man die Vorzeichnungen für die *Moll*-Tonleitern augenblicklich finden kann, sobald die der *Dur*-Tonleiter für die kleinere Tertie des nämlichen Tones bekannt ist, da beide einander gleich sind. Es haben sonach c *moll* und es *dur*, d *moll* und f *dur* u. s. w. gleiche Vorzeichnungen. Es ergiebt sich ferner von selbst, dafs man die Vorzeichnungen der *Moll*-Tonarten finden könne, wenn man auf gleiche Weise, als oben für die *Dur*-Tonarten gezeigt worden ist, statt bei letztern von c auszugehn, bei ersteren von a aus zu den Quinten aufsteigend und absteigend übergeht. Die Quinte von A ist e, also hat e *moll* ein Kreuz, die Unterquinte von A ist D und D *moll* hat also ein b, welche Vorzeichnung die herabgehende Tonfolge bezeichnet.

Die 12 Töne irgend einer Octave sind also aufsteigend dem Namen und ihrer Bezeichnung nach folgende:

c cis d dis e f fis g gis a ais h
c, c♯, d, d♯, e, f, f♯, g, g♯, a, a♯, h,

herabsteigend dagegen:

c h b a as g ges f e es d des
c, h, b, a, a♭, g, g♭, f, e, e♭, d, d♭.

Insofern aber jeder Ton durch ein Kreuz zum nächsten Tone erhöht, durch ein b aber vertieft werden kann, kommen zu der obern Reihe noch e♯ (eis), h♯ (his) und zu der untern c♭ (ces), f♭ (fes) hinzu. Ein mehrmals, z. B. durch Schwanenberg[1],

1 Ueber Unnütz- und Unschicklichkeit des H im musikal. Alphabete. Wien u. Leipz. 1797. 8.

Digitized by Google

Leop. Mozart[1], J. J. Klein[2] und Chladni[3] gerügter Fehler dieser übrigens sehr zweckmäfsigen Bezeichnung ist die durch h und b, indem vielmehr h durch b und dann b♯ durch bis, b♭ durch bes bezeichnet werden müfste, wie L. Mozart auch gethan hat. Die Bezeichnung der Octaven nach ihrer Höhe fängt jederzeit mit c an und wird dann bei den übrigen Tönen beibehalten, so dafs also das g oder h u. s. w., welches zwischen dem grofsen und kleinen c liegt, das grofse g oder grofse h genannt und auf gleiche Weise bezeichnet wird. Den Anfang macht hiernach das tiefste C, welches durch D, E u. s. w. bis Contra — C geht, dann folgt das grofse C, das tiefste des Forte-Piano und des Violoncells, dann das kleine oder gewöhnlicher ungestrichene c, und so geht es zum eingestrichenen c, zum zweigestrichenen c, zum dreigestrichenen c u. s. w. fort, indem die Töne vom grofsen C bis zum dreigestrichenen c die vier Octaven der älteren Claviere umfassen.

Da jeder Ton als Grundton betrachtet werden kann, sobald in Beziehung auf die Harmonie von den Verhältnissen der übrigen Töne zu ihm die Rede ist, so kann man die Intervalle von jedem beliebigen Tone ausgehend bestimmen; meistens wählt man dazu aber das c. Insofern aber die Intervalle nach der Menge der Schwingungen in einer gegebenen Zeit bestimmt werden, zugleich aber bereits oben §. 13. gezeigt worden ist, dafs die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, wovon nach §. 39. sehr leicht eine Anwendung auf die Längen der schwingenden Luftsäulen gemacht werden kann, so giebt folgende Tabelle die sämmtlichen einer Octave zugehörenden, also innerhalb der Gröfse 1 bis 2 liegenden Intervalle nach ihrem geometrischen oder Zahlenverhältnisse der Schwingungen an.

1 Violinschule.
2 Musikal. Zeitung 1799. N. 41.
3 Akustik S. 21.

Töne.	Schwingungen.		Saitenlängen.	
c : c Einklang	1	1,00000	1	1,00000
c : cis übermäfsige Prime	$\frac{25}{24}$	1,04167	$\frac{24}{25}$	0,96000
c : des kleine Secunde	$\frac{16}{15}$	1,06667	$\frac{15}{16}$	0,93750
c : d grofse Secunde	$\frac{10}{9}$	1,12500	$\frac{9}{10}$	0,90000
c : dis übermäfsige Secunde	$\frac{125}{108}$	1,15741	$\frac{108}{125}$	0,86400
c : es kleine Tertie	$\frac{6}{5}$	1,20000	$\frac{5}{6}$	0,83334
c : e grofse Tertie	$\frac{5}{4}$	1,25000	$\frac{4}{5}$	0,80000
c : fes verminderte Quarte	$\frac{32}{25}$	1,28000	$\frac{25}{32}$	0,78125
c : f grofse Quarte	$\frac{4}{3}$	1,33334	$\frac{3}{4}$	0,75000
c : fis übermäfsige Quarte	$\frac{25}{18}$	1,38889	$\frac{18}{25}$	0,72000
c : ges verminderte Quinte	$\frac{36}{25}$	1,44000	$\frac{25}{36}$	0,69445
c : g grofse Quinte	$\frac{3}{2}$	1,50000	$\frac{2}{3}$	0,66667
c : gis übermäfsige Quinte	$\frac{25}{16}$	1,56250	$\frac{16}{25}$	0,64000
c : as kleine Sexte	$\frac{8}{5}$	1,60000	$\frac{5}{8}$	0,62500
c : a grofse Sexte	$\frac{5}{3}$	1,66667	$\frac{3}{5}$	0,60000
c : ais übermäfsige Sexte	$\frac{125}{72}$	1,73612	$\frac{72}{125}$	0,57600
c : b kleine Septime	$\frac{16}{9}$	1,77778	$\frac{9}{16}$	0,56250
c : h grofse Septime	$\frac{15}{8}$	1,87500	$\frac{8}{15}$	0,53334
c : ces verminderte Octave	$\frac{48}{25}$	1,92000	$\frac{25}{48}$	0,52083
c : $\bar{c}$ vollkommene Octave	2	2,00000	2	0,50000

Die hier angegebene Bestimmung der Intervalle ist die gewöhnliche und kann bei akustischen Untersuchungen unbedenklich als richtig angenommen werden; inzwischen ist man keineswegs über ihre absolute Genauigkeit überall einverstanden. So giebt Chladni für die übermäfsige Secunde auch $\frac{74}{68}$, für die grofse Secunde $\frac{9}{8}$, für die kleine Septime $\frac{9}{5}$ an, nach Hällström[1] ist das Verhältnifs der grofsen Sexte statt $\frac{5}{3}$ auch wohl $\frac{42}{11}$ oder $\frac{27}{16}$ oder $\frac{2719}{1611}$ oder $\frac{109}{65}$. Solche Unterschiede sind jedoch zu gering, als dafs das blofse Ohr sie ohne weitere Mittel wahrnehmen könnte. Insofern aufserdem ein jeder Ton als Tonica angesehn werden kann, so müfste zwischen ihm und seiner Octave eine gleiche Reihenfolge von Intervallen liegen, als hier für c angenommen worden ist, welches voraussetzen würde, dafs alle folgende Töne zu jedem vorhergehenden in einem gleichen Verhältnisse ständen, als so eben für die Reihenfolge der Octave von c an gerechnet nach-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 442.

Digitized by Google

gewiesen worden ist, was auf den ersten Blick als unstatthaft erscheint und aufserdem mit den verschiedenen Verhältnissen, die so eben für cis und des, dis und es, e und fes u. s. w. angegeben worden sind, im Widerspruche steht. Diesemnach ist das Verhältnifs c : cis = 24 : 25 etwas zu klein, das andere c : des = 15 : 16 etwas zu grofs, und da man nicht füglich alle diese verschiedenen Verhältnisse durch wirkliche Töne ausdrücken kann, so mufs man zwischen beiden ein mittleres nehmen, worin beider Ungleichheiten möglichst nahe ausgeglichen sind. Hiernach erhält man folgende 12 Töne der Octave von c ausgehend:

c, cis, d, dis, e, f, fis, g, gis, a, b, h, c.
des, es, fes, eis, ges, as, ais, ces, his.

Die Abweichung der Intervalle von ihrer geometrischen Richtigkeit nennt man *Temperatur*, die Abweichung jedes einzelnen Intervalles eine *Schwebung*, und wenn die Unrichtigkeiten ganz gleichförmig vertheilt werden, eine *gleichschwebende Temperatur*, wenn die Vertheilung aber ungleichförmig geschieht, eine *ungleichschwebende Temperatur*. Die geringen Abweichungen werden vom Ohre nicht wahrgenommen, man glaubt vielmehr die reinen Intervalle zu hören, und wählt daher am vortheilhaftesten die gleichschwebende Temperatur, da man in der heutigen Musik von allen möglichen Tonarten gleichmäfsig Gebrauch macht. Unter den ungleichschwebenden Temperaturen hat die *Kirnberger'sche* am meisten Aufsehn erregt, Chladni verwirft indefs auch diese, nebst allen andern, von denen er sagt, dafs jeder Erfinder die seinige für die beste hält. Die folgende Tabelle enthält die Verhältnifszahlen der Saitenlängen und Schwingungszahlen für die gleichschwebende und die Kirnberger'sche Temperatur für die 12 Töne einer Octave und zugleich die absoluten Vibrationsmengen der eingestrichenen Octave, weil darin der normale Ton des Stimmens, nämlich $\bar{a}$ vorkommt, wofür die oben §. 50. gefundene, der Stimmung der meisten Orchester genau oder in sehr genähertem Werthe zukommende, absolute Menge von Schwingungen, nämlich 880 in 1 Secunde, angenommen worden ist, eine Bestimmung, die ich um so lieber wähle, weil diese Zahlengröfse sich noch obendrein leicht behalten und zugleich bequem durch zwei theilen läfst, so dafs man sie leicht auf andere Octaven übertragen kann. Aufserdem haben die neue-

Digitized by Google

sten Wiener Forte-Piano's, namentlich von Streicher und Stein, eine nur unmerklich höhere Stimmung; da diese aber bei den älteren, sowie auch bei den französischen und englischen, etwas tiefer ist, so scheint es mir am räthlichsten, namentlich des Gesanges wegen, die Stimmung nicht höher zu treiben, sondern bei ā mit 880 Schwingungen in der Secunde stehn zu bleiben.

	Gleichschwebende Temperatur.			Kirnberger'sche Temperatur.		
	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	absolute	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	absolute
c	1,00000	1,00000	523,25	1,00000	1,00000	523,25
cis	0,94387	1,05946	554,39	0,94922	1,05349	551,24
d	0,89090	1,12246	587,33	0,88889	1,12500	588,66
dis	0,84090	1,18921	622,26	0,84375	1,18518	620,11
e	0,79370	1,25992	659,26	0,80000	1,25000	654,07
f	0,74915	1,33484	698,46	0,75000	1,33334	697,69
fis	0,70710	1,41421	739,99	0,71112	1,40625	735,82
g	0,66742	1,49831	783,99	0,66667	1,50000	784,88
gis	0,62996	1,58740	830,62	0,63281	1,58024	826,86
a	0,59461	1,68179	880,00	0,59629	1,67702	880,00
b	0,56123	1,78180	932,34	0,56250	1,77778	930,22
h	0,52973	1,88775	987,77	0,53334	1,87500	981,10
c̄	0,50000	2,00000	1046,51	0,50000	2,00000	1046,51

Das bisher Gesagte genügt, um bei physikalisch-akustischen Untersuchungen hinlängliche Auskunft zu geben. Sollen die Intervalle rein, nicht falsch oder unrein seyn, was man bei den Sängern auch *Detoniren* nennt, so müssen streng genommen die einzelnen Töne die oben angegebenen geometrischen Verhältnisse zu einander haben. Die menschliche Stimme kann vermöge ihrer Biegsamkeit diese genau darstellen, wenn beim Sänger hinlänglich feines Gehör und genügende Fertigkeit vereint sind. Bei den Bogeninstrumenten hängt es von diesen nämlichen Fähigkeiten ab, ob der Künstler beim Erzeugen der Töne durch gehöriges Aufsetzen der Finger sie völlig rein darstellt. Die Schwierigkeiten sind gröfser bei denjenigen Blasinstrumenten, bei denen die Länge der schwingenden Luftsäule nicht durch Klappen verändert wird, z. B. beim Horn, der Trompete u. s. w., denn bei diesen müssen

Digitized by Google

die richtigen Intervalle durch die Modificationen des Anblasens rein dargestellt werden, bei den übrigen geschieht dieses durch das nämliche Mittel und durch Anwendung der Klappen, deren Zahl eben deswegen bei manchen so grofs ist. Unter den Instrumenten mit festen Tönen sind einige so mangelhaft, dafs sie für die Tonart des Stückes jedesmal rein gestimmt werden müssen, wie Guitarren und die Harfen, die kein vollkommenes Pedal haben, bei den übrigen, namentlich den Orgeln und Forte-Piano's, wird die gleichschwebende oder irgend eine ungleichschwebende, vorzugsweise die Kirnberger'sche Temperatur durch das Stimmen erhalten, auf jeden Fall eine solche, die die Ungleichheiten zwischen cis und des, dis und es u. s. w. so weit ausgleicht, dafs jede Tonart auf gleiche Weise rein erscheint. Auf welche Weise dieses für die verschiedenen Schwebungen geschieht, meistens durch Ausgleichung der Quinten und deren Octaven, mufs aus den hierüber handelnden Werken entnommen werden[1].

56) Ein einzelner Ton kann nur dann angenehm seyn, wenn er bestimmt ist, das heifst, wenn er durch regelmäfsig wiederkehrende Hauptschwingungen des tönenden Körpers und die hierzu pafslichen Nebenschwingungen der mit ihm verbundenen Körper erzeugt wird; eine widerliche Afficirung des Ohrs findet statt, wenn das Gegentheil hiervon eintritt. Ein zweiter Grund der Annehmlichkeit einzelner Töne liegt in der Art, wie die Vibrationen erzeugt und zum Ohre fortgeführt werden. Manche derselben sind scharf und ich glaube sie mit den Prellstöfsen eines harten Körpers vergleichen zu können, statt dafs andere weicher und runder, gleichsam einem drückenden Stofse ähnlich, die Gehörnerven treffen. Eine ganz verschiedene Empfindung würden in gleichen Zeiten gleichmäfsig wiederholte und gleich starke Stöfse mit einem eisernen und einem hölzernen Stäbchen, beide von der nämlichen Beschaffenheit, gegen irgend einen Theil des mensch-

1 Ueber die Theorie und das Mathematische dieser Aufgabe handelt sehr gründlich Chladni in seiner Akustik. Praktische Anleitungen findet man in: Neidhard mathematische Abtheilung des Monochord's. 1732. Marpurg Versuch über die musikalische Temperatur. Berl. 1776. Lambert Remarques sur le Tempérament cet., in Mém. de Berl. 1774. Tib. Cavallo in Phil. Trans. 1788. T. LXXVIII. P. II.

Digitized by Google

lichen Körpers gerichtet, erzeugen, und durch diese Aehnlichkeit läfst sich, wie ich glaube, der Unterschied gleicher, aber rücksichtlich der Annehmlichkeit sehr verschiedener Töne deutlich machen. So sind unter andern die Töne der Glasharmonica eigenthümlich scharf, manche können sie nicht ertragen, und ich gestehe, dafs ich selbst sie zwar wegen ihrer Reinheit und Politur schön nennen möchte, allein wegen ihrer Schärfe sind sie mir so unangenehm, dafs ich sie möglichst vermeide. Es erstreckt sich dieses auch auf Töne, die mit dem Bogen erzeugt werden, und sogar auf die des Forte-Piano, namentlich auf den ganz verschiedenen Anschlag, der bei einigen Spielern hart, bei andern weich ist, beides in vielfachen Abstufungen, worauf bei gleicher Fertigkeit und gleichem Vortrage die gröfsere oder geringere Annehmlichkeit der Töne beruht. Hierbei kommt dann allerdings die Art der erzeugten Vibrationen der Saiten sehr in Betrachtung, die oben §. 9 ff. näher untersucht worden ist.

Die durch die Verbindung zweier und mehrerer Töne gegebenen *Intervalle* sind nach der so eben beendigten Untersuchung consonirend, wenn sich ihre Verhältnisse durch einfache Zahlen ausdrücken lassen; im entgegengesetzten Falle aber sind sie dissonirend. Im Allgemeinen darf angenommen werden, dafs die consonirenden Intervalle für sich angenehm sind, die dissonirenden aber unangenehm; allein eine blofse Folge von Consonanzen würde ebenso, wie eine anhaltende Wiederholung des nämlichen, an sich sehr schönen Tones, ermüden und könnte selbst unangenehm werden. Hieraus ergiebt sich evident, dafs die gewöhnliche Behauptung, Einfachheit sey die *einzige* Bedingung der Schönheit in der Musik, nicht blofs unbestimmt ist, sondern auch streng genommen zu einem ganz falschen Resultate führen müfste. Die aus der Wahrnehmung eines einzelnen schönen Tones entspringende Annehmlichkeit gleicht derjenigen, die auch auf andere Sinne, auf das Auge namentlich, durch eine Farbe, aber auch auf die nicht edlen Sinne, den Geschmack und den Geruch, hervorgebracht wird, die Consonanz zweier Töne geht wegen des bestehenden Zahlenverhältnisses schon mehr zum Geistigen über und übertrifft das, was durch die Zusammenstellung von zwei Farben erzeugt wird, deswegen beträchtlich, weil zwischen diesen ein solches, blofs durch Seelenthätigkeit wahr-

Digitized by Google

nehmbares Verhältnifs nicht statt findet. Aus eben diesem Grunde hat man in Folge nicht gehöriger Würdigung des bestehenden Unterschiedes vergebens versucht, *Farben-Claviere* darzustellen. Die Operationen der Seele werden zusammengesetzter bei der Wahrnehmung des Zusammenfallens und der Reihenfolge verschiedener Intervalle, hierbei werden die Dissonanzen wichtig, insofern sie die Aufmerksamkeit und das Bestreben erregen, auf eine zu erfassende Weise von ihnen wieder zu den Consonanzen geführt zu werden, wie sich schon daraus deutlich ergiebt, dafs es für die meisten Menschen höchst widerlich ist, wenn man ein Stück mit einer Dissonanz schliefst oder wenn dasjenige geschieht, was man nennt einen Gedanken (einen Satz) nicht zu Ende bringen. In dieser Hinsicht unterscheidet sich sehr diejenige natürliche Anlage, die man musikalisches Gehör nennt, welche auf der gröfsern oder geringern, mehr oder minder ausgebildeten Fertigkeit beruht, den Zusammenhang der verschiedenen mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervalle zu begreifen. Die Gewohnheit hat hierauf gleichfalls einen bedeutenden Einfluss und kann bewirken, dafs man einer Gattung von Tonstücken oder den Productionen eines gewissen Componisten, womit man sich am meisten vertraut gemacht hat, vorzüglich oder ausschliefslich Beifall schenkt. Für die Mathematik würde es eine zu schwierige und allzuweitläuftige Aufgabe seyn, den Zusammenhang zwischen den gleichzeitigen und in kürzern oder längern Zwischenräumen einander folgenden und mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervallen durch Zahlengröfsen nachzuweisen, sie setzt ihren Forschungen im Gebiete der Akustik Grenzen und überläfst die Aufsuchung der Regeln der Harmonie der Aesthetik der Musik, der *Tonsetzkunst*.

E. Specielle Untersuchungen über die Entstehung der Töne durch die verschiedenen Mittel, oder von den musikalischen Instrumenten.

57) Die verschiedenen Arten der Erzeugung von Tönen sind zwar bereits bei der Untersuchung der Schallschwingungen abgehandelt worden, es kommen jedoch dabei noch manche Eigen-

Digitized by Google

thümlichkeiten in Betrachtung, die hier noch kurz erwähnt zu werden verdienen. Die hierbei zu befolgende Ordnung bietet sich von selbst dar, indem es am zweckmäfsigsten ist, zuerst von denjenigen Instrumenten zu handeln, bei denen starre Körper schwingen, und dann von denjenigen, bei denen die schwingende Luftsäule das eigentliche tönende Mittel ist. Unter den letztern giebt es verschiedene, bei denen beide Arten von Körpern den Ton erzeugen, wobei es oft schwer bestimmbar ist, welcher von beiden der eigentlich bedingende sey; inzwischen ist die Schärfe der Abtheilung nicht gerade Hauptsache.

a) Instrumente aus starren oder gespannten elastischen Körpern.

58) Die Untersuchung der Instrumente, bei denen starre Körper schwingen, die entweder gespannt oder an sich elastisch sind, bietet die geringsten Schwierigkeiten dar. Sind diese Körper Saiten, so werden sie entweder mit Hämmern, Stiften und auf sonstige Weise geschlagen, oder mit den Fingern geschnellt, oder mit einem Bogen gestrichen. Die unter diese Classe gehörigen brauchbaren Instrumente sind ihrem Wesen nach bekannt, die Theorie der durch sie zu erzeugenden Töne ist aus dem Vorhergehenden deutlich, eine nähere Beschreibung derselben gehört zum praktischen Instrumentenbau.

Unter die minder bekannten, seltenern und einer nähern Beschreibung würdigen Instrumente gehört die *Glasharmonica*. Die Idee dazu ist aus dem Tönen gewöhnlicher Gläser, wenn deren Rand mit einem nassen Finger gerieben wird, entnommen, Benjamin Franklin aber erhob sie eigentlich zu einem musikalischen Instrumente dadurch, dafs er die in einander geschobenen Glocken auf einer horizontalen Axe befestigte, diese vermittelst eines Schwungrades umdrehte und es dadurch möglich machte, mehrere gleichzeitig mit den Fingern zu berühren und leichter von der einen zur andern überzugehn[1]. Später hat v. Meyer zu Knonow die halbkugelför-

1 C. Volleding Archiv nützlicher Erfindungen. 1792. S. 189. Eine gewisse Mifs Dawis soll schon 1765 eine besessen und gespielt haben. Halle Magie. III. 173.

migen Glocken mit länglichen vertauscht [1], Röllig zuerst, dann Hessel und Klein haben sie mit einer Tastatur versehn [2], da es aber bei ihr vorzugsweise auf Reinheit und völlige Gleichmäfsigkeit des Tones ankommt, so darf man mit Recht sagen, dafs Grenié sie in gröfster Vollkommenheit dargestellt habe, indem er die Glocken inwendig und auswendig zu gleichmäfsiger Dicke schliff und dann oben so lange wegnahm, bis die vollständig reine Stimmung vorhanden war [3].

Chladni's Instrumente mit der Streichwalze verdienen noch besonders genannt zu werden, da ihre Töne die Eigenthümlichkeit haben, dafs sie von Schwingungen herrühren, in welche die tönenden Körper durch andere mit ihnen verbundene vibrirende versetzt sind, und wovon der Mechanismus lange ein Geheimnifs blieb (§. 40). Das erste zu dieser Classe gehörige Instrument ist das *Euphon*, welches der Erfinder im Jahre 1790 zu Stande brachte und von dieser Zeit an öffentlich zeigte. Dasselbe besteht aus einer 3,5 Octaven umfassenden Claviatur aus theils weifsen, theils schwarzen horizontal liegenden Glasstäben, die mit nassen Fingern nach der Länge gestrichen, dadurch in longitudinale Schwingungen versetzt werden und diese den mit ihnen verbundenen, in einem hintern Kasten verborgenen, verticalen Glas- oder Metallstäben mittheilen, deren hierdurch erzeugte transversale Schwingungen dann den eigentlichen Ton geben [4]. Einige haben den Bau aus dem äufsern Ansehn der Claviatur zum Theil errathen und das Instrument nachgebildet, jedoch ist keins von diesen genauer bekannt geworden, aufser das durch Maslosky verfertigte *Coelison*, welches sehr gepriesen wurde [5], nach dem von mir gehörten Originale aber in Vergleichung mit andern Instrumenten ebenso unvollkommen ist, als das ursprüngliche doch eigentlich genannt werden mufs. Dasselbe besteht aus einem aufgerichteten Flügel mit Saiten, wie das Forte-Piano bezogen, jedoch werden dieselben nicht durch Hämmer zum Schwingen gebracht, sondern durch horizontale, an ihnen befestigte, runde Fischbeinstäbchen, die der

1 Journ. von und für Deutschland. 1784. S. 2.

2 Musikal. Zeit. 1799. S. 675.

3 Biot Traité. T. II. p. 197.

4 Chladni's Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau u. s. w. Leipz. 1821. S. 135 ff. Vergl. G. LXIX. 51.

5 G. XX. 128.

Digitized by Google

Länge nach mit den Fingern gestrichen werden; letztere sind dann nicht nafs, vielmehr bedient sich der Spieler lederner, mit Colophoniumpulver eingeriebener Handschuhe[1].

Als eine bedeutende Verbesserung dieser Art Instrumente ist die *Streichwalze* zu betrachten, die, gleichfalls von Chladni erfunden, dazu dient, die tönenden Stäbe mittelbar oder unmittelbar in Schwingungen zu versetzen. Sie besteht aus einer etwa 4 Z. dicken, mit Glascylindern überzogenen oder hölzernen, selten oder nie metallenen, horizontal liegenden und der Länge der Claviatur angemessenen Walze mit einem Schwungrade und einer Kurbel, die durch eine herabgehende Stange mit einem Fufstritte nach Art der Spinnräder durch Treten umgedreht wird. Vermittelst einer geeigneten Claviatur werden dann die schwingenden Stäbe entweder selbst, oder die in ihrer Mitte befestigten Hülfsstäbe gegen diese Walze gedrückt, als Zwischenmittel dient ein Stück Filz oder Leder, und indem dann die gläserne Walze benetzt oder die hölzerne mit Colophoniumpulver eingerieben ist, so entsteht eine Reibung, wodurch die Stäbe zum Vibriren gebracht werden[2]. Chladni nannte sein Instrument *Clavicylinder,* andere Künstler bildeten dasselbe ungeachtet des Geheimhaltens der Bauart nach und gaben ihm dann andere verschiedene Namen. Zuerst geschah dieses durch Dietz zu Emmerich, dessen rauh klingendes Instrument den Namen *Melodion* oder *Panmelodion* erhielt, ein anderes, welches ich gleichfalls blofs gesehn und gehört habe, ohne dessen speciellen Namen zu kennen, brachte der bekannte Violinist Creuzer aus Italien. Dasselbe besteht aus messingnen tönenden Stäben, die der Streichwalze genähert werden, wonach ich vermuthe, dafs es durch Luigi Concone verfertigt worden ist, welchem Chladni[3] das Geheimnifs der Construction bereits 1811 mitgetheilt hatte. Die vollendetste Nach-

1 Ein anderes dem Euphon nachgebildetes Instrument, *Chalybsonans* genannt, von Dietz zu Emmerich verfertigt, kenne ich blofs dem Namen nach aus Chladni's eben genannter Schrift S. 160. Chladni hat sein Euphon später bedeutend verbessert, es scheint aber kein weiterer Gebrauch von dieser neuen Construction gemacht worden zu seyn. G. LXXV. 69.

2 Ueber die Bauart solcher Instrumente im Allgemeinen und die Beschaffenheit der einzelnen Theile handelt ausführlich Chladni in der genannten Schrift.

3 A. a. O. S. 120.

Digitized by Google

bildung ist durch Buschmann in seinem *Terpodion* zu Stande gebracht worden, welches in verschiedenen Ländern öffentlich gezeigt und dadurch sehr allgemein bekannt geworden ist, mit Ausnahme der verheimlichten innern Structur, indem der Künstler behauptet, die klingenden Stäbe seyen von Holz, woran ich jedoch zweifle, da ich mit Chladni der Meinung bin, dafs Holz minder klare Töne erzeugt und dem Einflusse der Temperatur und Feuchtigkeit zu sehr ausgesetzt ist. Der wegen seiner übrigen musikalischen Automaten berühmte Kaufmann aus Dresden wählte Saiten statt der Stäbe zur Erzeugung der Töne und nannte sein Instrument hiernach *Harmonichord*, machte jedoch aus dem Zwischenmittel, wodurch die Saiten vermittelst der Streichwalze zum Schwingen gebracht werden, ein Geheimnifs. Chladni hat in seinem genannten Werke alle Einzelheiten, die bei den verschiedenartigsten Constructionen desselben in Betrachtung kommen, ausführlich bekannt gemacht, so dafs jetzt deswegen kein Geheimnifs mehr obwaltet und es blofs an dem Fleifse und der Beharrlichkeit geübter Instrumentenmacher liegt, diesem vermuthlich noch bedeutender Verbesserungen fähigen Instrumente die nöthige Vollendung zu geben, um demselben einen höhern Rang unter den übrigen zu sichern, worauf es wegen der Stärke und Dauer der Töne, so wie durch das mögliche Schwellen derselben gegründete Ansprüche hat.

b) Instrumente mit tönender Luftsäule.

59) Ungleich zusammengesetzter und schwerer zu erkennen sind die verschiedenen Mechanismen, wodurch die Luftsäulen in tönende Schwingungen versetzt werden, und mitunter ist es sogar nicht leicht zu unterscheiden, unter welche Classe man die verschiedenen Vorrichtungen rechnen soll. Als einfachste Instrumente sind diejenigen zu betrachten, bei denen die in einem Rohre oder Gefäfse eingeschlossene ruhende Luftsäule durch einen schräg gegen die Mündung gerichteten stofsenden Luftstrom in Schwingungen versetzt wird. Hierunter gehört jede an einem Ende verschlossene Röhre, gegen deren offenes Ende man mit dem Munde bläst, ein Schlüssel, ein Medicinglas u. s. w., als Instrument die Hirtenflöte, *Papagenoflöte*, die bereits den Alten bekannt war und ein Attribut des Pan ist, weswegen sie auch *Panflöte* heifst. Merk-

Digitized by Google

würdig ist der Umstand, dafs diese Flöte auch in Peru bekannt war. Dr. Trail aus Liverpool zeigte nämlich bei der Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Hamburg im Jahre 1830 ein Exemplar dieses Instrumentes (*Syrinx*) vor, welches im Grabe eines Inka's gefunden worden ist und wovon ich einen Gypsabgufs besitze. Dasselbe besteht aus einem flachen Stücke Speckstein, in welches 8 Löcher gebohrt und oben 10 Lin. hoch zu ebensoviel Pfeifen gestaltet sind. Zwei kleine, seitwärts durch alle Röhren gehende Löcher geben die Quarten und Quinten der Töne an, auch läfst sich die Octave durch stärkeres Anblasen hervorbringen; auf der einen Fläche aber sind eingeschnittene peruanische Schriftzeichen.

Die in Röhren eingeschlossene ruhende Luftsäule wird leicht in Schwingungen versetzt, wie man daraus ersieht, dafs nach Weber[1] die gewöhnlichen vorhandenen Schallwellen dieses bewirken; denn wenn man eine Röhre von 1 Fufs 3 Zoll Länge und 1,3 Z. Durchmesser aus Pappe gegen das Ohr stemmt, so hört man den leisen Ton a, hält man die andere Oeffnung mit der Hand zu, so hört man ā, und wenn man das offene Ende dem Ohre blofs nähert, g i s. Die einfachste Construction hat die gemeine Pfeife, eine unten verschlossene oder offene Röhre, in welcher oben ein Cylinder sich befindet, wovon ein Theil nach der Längenaxe weggeschnitten ist. Unter demselben hat die Pfeife einen schräg laufenden Einschnitt, wodurch eine hinlänglich weite Oeffnung zum Entweichen der Luft und eine Schärfe gebildet wird, wogegen die Luft stöfst und zugleich bei ihrem wellenartigen Strömen die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen bringt, wobei die Höhe des Tones dem §. 39. angegebenen Gesetze gemäfs ist. Einen ähnlichen Bau haben diejenigen Orgelpfeifen, die zu den Labialpfeifen oder den sogenannten Flötenregistern gehören. Sie bestehn aus einer vierkantigen oder cylindrischen Röhre von der erforderlichen Länge d b, die oben offen oder gedeckt seyn kann, in welchem letzteren Falle sie gedackt und hiernach das ganze Register *Gedackt* genannt wird. Den Ton giebt die in ihr eingeschlossene Luftsäule, weswegen ihre Länge der Summe der zwischen den in ihrem Querschnitte gebildeten Wellen angemessen seyn mufs.

Fig. 152.

1. Wellenlehre S. 521.

Digitized by Google

Diese Röhre ist auf einem konischen Unterstücke, dem Fufse, befestigt, vermittelst dessen sie in den Behälter gesteckt wird, aus welchem die Luft in ihre Mündung bei a nach Oeffnung derselben durch eine Klappe einströmt. Man nimmt an, dafs der Fufs bei einer offenen Pfeife den achten und bei einer gedeckten den vierten Theil der Länge der obern Röhre haben müsse; denn das Mittel der gröfsten Höhe und Tiefe einer Welle fällt in den vierten Theil ihrer Länge (§. 38. c.), und wenn daher die im konischen Theile entstehenden Wellen denen in der Röhre correspondiren sollen und in der Mündung durch das Ausströmen der Luft eine Ausgleichung statt findet, wo es weder eine Erhöhung noch eine Vertiefung der Wellen oder für die Luft der Verdichtung und Verdünnung giebt, so mufs der Konus dem vierten Theile der Wellenlänge gleich seyn, die entweder bis in die Mitte oder an das Ende der Röhre reicht. Unter der Mündung bc ist der Konus durch eine Platte (den *Kern*) verschlossen, wovon ein Theil weggeschnitten ist, um eine enge Oeffnung darzustellen, aus welcher die eingeblasene Luft entweicht. Ebendaselbst ist die metallene Pfeife eingedrückt, so dafs zwei die Mündung begrenzende Lippen, jede das *Labium* genannt, eine obere und eine untere, entstehn, wo die ausströmende Luft von der unteren gegen die obere getrieben wird, um die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Vibriren zu bringen. Die Weite der Mündung ist wichtig; sie wird anfangs kleiner gemacht und so lange vergröfsert, bis der Ton von gehörig reinem Klange zum Vorschein kommt, auch ist die Breite derselben und die Neigung der Labien gegen einander nicht gleichgültig, das Material aber, woraus die Pfeife besteht, macht keinen wesentlichen Unterschied und ist nur insofern von Bedeutung, als der Körper selbst (nach Abschn. C.) in correspondirende Schwingungen versetzt wird. Man nimmt aus dieser Ursache gern Metall, was auch für die Unveränderlichkeit der Mündung vortheilhaft ist. Dafs die Luft nicht aus der Pfeife ströme, ersieht man an einer über d gehaltenen Lichtflamme.

60) Mit der Untersuchung der Töne, die durch Schwingungen der Luftsäule in Röhren entstehn, haben L. Euler[1]

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. 1771.

Digitized by Google

und noch ausführlicher Dan. Bernoulli[1] sich beschäftigt, am ausführlichsten darüber handelt aber Biot[2], gestützt auf die Versuche, die er zur bessern Einsicht der Sache in Verbindung mit Hamel angestellt hat. Um zuerst den Einfluſs des stärkern Anblasens auf die Vermehrung der Schwingungsknoten zu ermitteln, versahen sie eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser und ungefähr 37 Z. Länge mit einem Konus von Blei, in welchem das eben beschriebene Mundloch befindlich war, setzten sie in ein Orgelwerk, dessen Blasebalg mit ungleichen Gewichten beschwert werden konnte, und verglichen die erhaltenen Töne mit den Pfeifen einer reingestimmten Orgel[3]. Nur durch ein unmerkliches Anblasen konnten sie den tiefsten Ton erhalten, welcher $\overline{g}$ war, und da dieser zu $\overline{c}$ in Verhältnifs von 3:2 steht, so mufs derselbe nebst allen andern mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt werden, um die richtige Reihenfolge der Töne zu erhalten. Sie erhielten demnach

$\overline{\overline{\overline{g}}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{3} = 1$ $\quad$ $\overline{\overline{\overline{d}}} = 9 \cdot \frac{2}{3} = 6$

$\overline{\overline{g}} = 3 \cdot \frac{2}{3} = 2$ $\quad$ $\overline{\overline{\overline{f}}}— = \frac{3^2}{5} \cdot \frac{2}{3} = 7\frac{1}{5}—$

$\overline{\overline{\overline{d}}} = \frac{9}{2} \cdot \frac{2}{3} = 3$ $\quad$ $\overline{\overline{\overline{g}}} = 12 \cdot \frac{2}{3} = 8$

$\overline{\overline{\overline{g}}} = 6 \cdot \frac{2}{3} = 4$ $\quad$ $\overline{\overline{\overline{c}}} = 16 \cdot \frac{3}{3} = 10\frac{2}{3}$

$\overline{\overline{\overline{h}}} = \frac{15}{2} \cdot \frac{2}{3} = 5$ $\quad$ $\overline{\overline{\overline{d}}} = 18 \cdot \frac{2}{3} = 12$

Diese Töne folgen in einer arithmetischen Reihe, und es geht hieraus hervor, welchen grofsen Einfluſs die Stärke des Anblasens der Instrumente hat, wodurch auf manchen, z. B. dem Horn, der Trompete u. s. w., die verschiedenen Töne erzeugt

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.

2 Traité T. II. p. 110 ff.

3 Für die Demonstration und Versinnlichung der einfachsten Gesetze genügt es, von einem Orgelbauer eine hölzerne Flötenpfeife verfertigen zu lassen. Diese geben meistens mit schwachem Anblasen den Grundton und durch Halbirung der Wellenlängen die Octave und die Doppeloctave, was man das Ueberblasen derselben nennt. Die ganze Reihenfolge der im Text angegebenen Töne zu erhalten ist jedoch sehr schwierig.

Digitized by Google

werden. Biot erwähnt hierbei, dafs der durch 7 ausgedrückte Ton von den Horn- oder Trompetenbläsern nicht hervorgebracht werden kann, was schon Dan. Bernoulli bemerkt und daraus erklärt hat, dafs die diesem Tone zugehörige Abtheilung der schwingenden Luftsäule nicht füglich zu erhalten sey; Biot ist jedoch der Meinung, dafs die Ursache auf einem andern Umstande beruhe, nämlich darauf, dafs dieser Ton in der Tonleiter nicht vorkommt und daher die Künstler nicht lernen, diejenige eigenthümliche Stärke des Blasens anzuwenden, die demselben zugehört. Inzwischen gesteht Biot zu, dafs die zu diesem Tone erforderlichen Vibrationsmengen zu den übrigen nicht in sehr einfachem Verhältnisse stehn, und sie mufsten bei den Versuchen mit der Hand nachhelfen, um der Luft in der Mündung die erforderliche Richtung zu geben. Wenn man also theoretisch untersucht, welche Abtheilungen die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule erhalten kann und welche Töne diesen zugehören, so giebt dieses folgende Resultate.

1	=	$\underline{\text{C}}$	13	=	$\overline{\text{as}}$	+	25	=	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	
2	=	C	14	=	$\overline{\text{ais}}$	+	26	=	$\overline{\overline{\text{as}}}$	+
3	=	G	15	=	h		27	=	$\overline{\overline{\text{a}}}$	—
4	=	c	16	=	$\overline{\text{c}}$		28	=	$\overline{\overline{\text{ais}}}$	+
5	=	e	17	=	$\overline{\overline{\text{des}}}$	—	29	=	$\overline{\overline{\text{b}}}$	+
6	=	g	18	=	$\overline{\overline{\text{d}}}$		30	=	$\overline{\overline{\text{h}}}$	
7	=	ais	+	19	=	$\overline{\overline{\text{es}}}$	—	31	=	$\overline{\overline{\overline{\text{ces}}}}$	+
8	=	$\overline{\text{c}}$	20	=	$\overline{\overline{\text{e}}}$		32	=	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$	
9	=	$\overline{\text{d}}$	21	=	$\overline{\overline{\text{f}}}$	—	33	=	$\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}$	—
10	=	$\overline{\text{e}}$	22	=	$\overline{\overline{\text{fis}}}$	—	34	=	$\overline{\overline{\overline{\text{des}}}}$	—
11	=	$\overline{\text{fis}}$	—	23	=	$\overline{\overline{\text{ges}}}$	—	35	=	$\overline{\overline{\overline{\text{des}}}}$	+
12	=	$\overline{\text{g}}$	24	=	$\overline{\overline{\text{g}}}$		36	=	$\overline{\overline{\text{d}}}$.	

Digitized by Google

Aus dieser Uebersicht folgt, dafs auf dem Horne und ähnlichen Instrumenten die Zahl der möglichen Töne in der Tiefe geringer ist, mit der Höhe dagegen so zunimmt, dafs sogar die geometrische Reihe derselben hervorgebracht werden kann. Hierzu kommt dann noch das Mittel, die untere Oeffnung mit der Hand oder einem Stopfer ganz oder zum Theil zu verstopfen und dadurch die Länge der schwingenden Luftsäule und den Wechsel ihrer verschiedenen Abtheilungen zu bedingen. Inzwischen bemerkt Biot mit Recht, dafs es eine ausgezeichnete Uebung erfordert, die Stärke und eigenthümliche Art des Blasens hinlänglich zu modificiren, um alle diese verschiedenen Töne hervorzubringen, was gemeine Künstler nicht vermögen.

Ein zweiter Gegenstand der Untersuchung ist die Weite der Oeffnung, wenn zugleich kein Theil der Röhre verschlossen ist. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, was wegen der Schwäche der erzeugten Töne schwierig ist, nahm Dan. Bernoulli eine am einen Ende verschlossene Röhre von 4 Zoll Länge, blies aus einiger Entfernung hinein und erhielt genau $\equiv$ g der Orgeln, bei denen eine 4 Fufs lange Pfeife c giebt. Blies er aus der Nähe in die Röhre, wodurch ein Theil der Oeffnung verschlossen wurde, so entstand ein um eine kleine Tertie tieferer Ton, oder derselbe wurde um $\frac{1}{6}$ tiefer, bei längeren Röhren verminderte sich dieser Unterschied und verschwand bei sehr langen gänzlich. Um aber mit Genauigkeit auszumitteln, welchen Einfluſs die Mündung auf den Ton habe und wohin man den Anfang der Schwingungen setzen müsse, machte Bernoulli[1] Versuche mit Röhren von verschiedener Länge, gab ihnen eine gleiche Embouchüre von der Art, wie oben beschrieben worden ist, deren Weite $\frac{1}{6}$ derjenigen der Röhre betrug, wonach also $\frac{5}{6}$ der letzteren als verschlossen zu betrachten sind, und machte den Ton, welchen die bis zu einem aliquoten Theile vermittelst eines hineingeschobenen Stopfers verschlossene Pfeife gab, demjenigen gleich, welcher der ganz offenen zugehörte. Indem nämlich eine offene Röhre in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, welcher durch das Verschliefsen der äufseren Oeffnung wegfällt,

1 Nach der Darstellung von Biot in Traité. T. II. p. 132 ff.

Digitized by Google

so müfste sie bis zur Mitte verstopft den nämlichen Ton, als ganz offen, geben, wenn die Schwingungen bei der Embouchüre selbst anfingen und das Hineintreten dieses Anfangspunctes der Oscillationen in das Innere der Röhre nicht statt fände. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Resultate. Die erste Columne enthält den Ton, den die ganz offene Pfeife gab, die zweite ihre Länge in Linien von der Mitte der Embouchüre an gemessen, die dritte die Tiefe, bis zu welcher man den Stopfer hineinschieben mufste, um den ursprünglichen Ton wieder zu erhalten und ihn also bis zum mittleren Schwingungsknoten zu bringen, die vierte enthält den Rest der Länge, also vom Schwingungsknoten bis zur Embouchüre, die fünfte giebt das Verhältnifs beider Längen, die sechste endlich das Tonverhältnifs beider Theile.

Digitized by Google

Ursprünglicher Ton[1].	Länge der Röhre in Lin.	Abstand des Schwingungsknotens vom Ende	Abstand des Schwingungsknotens von d. Embouch.	Verhältniss d. Längen	Vertiefung des Tones des offenen Endes.
c	137,0	72,0	65,0	$\frac{65}{72} = \frac{9,02}{10}$	von e zu d kl. Secunde
d	121,0	64,0	57,0	$\frac{57}{64} = \frac{8,91}{10}$	— e zu d kl. Secunde
e	107,6	57,6	50,0	$\frac{50}{57,6} = \frac{7,81}{9}$	— d zu c gr. Sec.
f	100,0	54,0	46,0	$\frac{46}{54} = \frac{5,11}{6}$	— es zu c kl. Tertie
g	88,0	48,0	40,0	$\frac{40}{48} = \frac{5,00}{6}$	— es zu c kl. Tertie
a	76,6	42,6	34,0	$\frac{34}{42,6} = \frac{3,99}{5}$	— e zu c gr. Tertie
h	67,8	38,8	29,0	$\frac{29}{38,8} = \frac{2,99}{4}$	— f zu c Quarte
$\overline{c}$	62,0	36,0	26,0	$\frac{26}{36} = \frac{18,06}{25}$	— fis zu c überm. Quarte
$\overline{d}$	53,0	32,0	21,0	$\frac{21}{32} = \frac{1,97}{3}$	von g zu c Quinte
$\overline{e}$	45,8	28,8	17,0	$\frac{17}{28,8} = \frac{2,95}{5}$	— a zu c gr. Sexte
$\overline{f}$	42,0	27,0	15,0	$\frac{15}{27} = \frac{69,44}{125}$	— his zu c überm. Sexte
$\overline{g}$	36,0	24,0	12,0	$\frac{12}{24} = \frac{1}{2}$	von $\overline{c}$ zu c Octave
$\overline{a}$	31,3	21,3	10,0	$\frac{10}{21,3} = \frac{11,73}{25}$	— $\overline{cis}$ zu c kl. None
$\overline{h}$ /	27,2	19,2	8,0	$\frac{8}{19,2} = \frac{2,08}{5}$	— $\overline{d}$ zu c De-Decime
$\overline{\overline{c}}$	25,0	18,0	7,0	$\frac{7}{18} = \frac{3,11}{8}$	— $\overline{f}$ zu c Undecime.

Die in der dritten Columne enthaltenen Zahlen stehn im genauesten Verhältnisse mit den erzeugten Tönen, wie sich schon auf den ersten Blick aus den Zahlen 18, 36, 72 er-

1 Die Töne beginnen mit viergestrichen c. Um die vielen Striche zu vermeiden, habe ich vier Striche weggelassen und mit c den Anfang gemacht.

Digitized by Google

giebt; auch sieht man, dafs bei den längern Röhren der Einfluſs der Embouchüre gänzlich verschwindet. Biot hat eine Gleichung zwischen den Zahlen der dritten und vierten Columne aufgesucht und gefunden, dafs schon die der geraden Linie fast vollkommen genügt, mehr aber die einer Hyperbel der zweiten Ordnung. Die Aufgabe ist leicht, klärt jedoch das Problem der Schallschwingungen nicht auf, und ich lasse es also bei einer bloſsen Angabe der Sache bewenden. Wichtiger sind die Resultate der Versuche, die Biot und Hamel über den Einfluſs ungleich weiter Embouchüren angestellt haben. Sie bedienten sich hierzu einer 4 F. langen hölzernen Pfeife, von quadratischem Querschnitte, dessen Seite 4 Z. betrug, am einen Ende verschlossen; die Oeffnung hatte die Breite der ganzen Seite und konnte durch das Herabdrücken eines Schiebers über der obern Lippe der Pfeifenmündung mehr verengt werden. Als Maſs der Verengerung dient die Bestimmung, dafs 66,6 Theile derselben einen Quadratzoll ausmachen. Die Versuche gaben folgende correspondirende Werthe.

Erzeugte Töne.	Verhältniſs derselben.	Gröſse der Oeffnung.
c	1	66,00
$\overline{g}$	3	36,50
$\overline{\overline{e}}$	5	26,00
$\overline{\overline{h}}$	7	20,50
$\overline{\overline{\overline{d}}}$	9	16,50
$\overline{\overline{\overline{f}}}$	11	14,00
⋮	⋮	⋮
$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$	43	3,80

Die Uebersicht ergiebt, dafs keiner der erhaltenen Töne den geraden Zahlen zugehört, auch war es ganz unmöglich, durch irgend eine Veränderung des Mundloches die Octave zu erzeugen, was der Theorie durchaus angemessen ist.

Digitized by Google

60) Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich insgesammt auf cylindrische oder überall gleich weite Pfeifen. Daniel Bernoulli und L. Euler[1] haben ihre gründlichen Forschungen auch auf konische und hyperbolisch gestaltete ausgedehnt, die Resultate führen aber auf die nämlichen allgemeinen Gesetze, als die bisher erörterten, und können daher hier übergangen werden. Einige Aufmerksamkeit verdienen aber noch die Schwingungen der Luftsäulen in Pfeifen, die Oeffnungen in ihrer Seite haben. Biot[2] wählte zur Demonstration die Traver-Flöte, eine Röhre, die alsdann tönt, wenn die in ihr eingeschlossene Luftsäule durch das schräge Blasen gegen den scharfen Rand des Mundloches (*Embouchure*) in Schwingungen versetzt wird. Ohne Rücksicht auf die andern vorhandenen Löcher, oder wenn diese verschlossen sind, ist dieselbe als eine an beiden Enden offene Röhre zu betrachten und giebt daher, wenn die Löcher insgesammt verschlossen werden, den Grundton. Aus dem Vorhergehenden folgt, dafs die Weite des Mundloches für den Ton nicht ohne Einflufs ist, vielmehr wird das Instrument mit vermehrter Weite tiefer. Um den Einflufs der Seitenlöcher aufzufinden, verfertigten Biot und Hamel ein pappenes Rohr von etwa 1 F. Länge und 1 Z. Durchmesser, versahen es mit einem bleiernen Fufse, wie eine Orgelpfeife, und erhielten durch Anblasen den Grundton. Darauf bohrten sie in der Mitte des Rohrs ein kleines Loch und fanden, dafs hierdurch der Ton um eine grofse Secunde erhöht worden war, denn bei gleich starkem Anblasen ward d statt c gehört. Sie erweiterten darauf die Oeffnung nach dem Umkreise hin, ohne Vermehrung der Höhe in der Richtung der Axe, und erhielten allmälig die vollständige Reihe der sogenannten ganzen Töne, ja sie hätten durch Anwendung gröfserer Sorgfalt auch die halben erzeugen können. Biot findet dieses der Theorie durchaus angemessen. Eine an beiden Enden offene Röhre hat nämlich einen Schwingungsknoten in der Mitte; auf diesen übt das Loch bei zunehmender Gröfse einen Einflufs aus, bis es so grofs wird, dafs die Luft frei durch die Oeffnung communicirt und also die Octave zum Vorschein kommt, die zwischen beiden liegenden

1 An den a. Orten.
2 Traité. T. II. p. 168.

Digitized by Google

Töne hängen aber von der Weite der Oeffnung auf gleiche Weise ab, als durch die letzten Versuche im vorigen §. ausgemittelt worden ist. Man sieht hieraus also, dafs die Entfernung der Löcher vom Ende oder von der Embouchüre und die Gröfse derselben einen Einfluſs auf die Höhe des Tones haben muſs und dafs dieser eine Modification erleiden müsse, wenn man das Loch allmälig mit dem Finger verschliefst. Die Biegungen und Krümmungen der Instrumente sind von keinem Einflusse und dienen blofs dazu, sie bequemer zum Handhaben darzustellen, denn die Schwingungen einer gekrümmten Luftsäule sind denen einer geraden völlig gleich; die Dicke der Luftsäule ist gleichfalls von keinem sehr wesentlichen Einflusse auf die Höhe, so lange die Röhre cylindrisch ist, jedoch macht sie den Ton stärker, weswegen zu den tiefen Tönen der Orgel dicke Pfeifen erfordert werden, die konische Form wird aber dann bedeutend, wenn sie die Röhre einer weitern mit einem engern Ansatze ähnlich macht. Inzwischen muſs man nach Weber[1] die Pfeifen der Flötenwerke etwas verkürzen, wenn sie bei vermehrter Weite den nämlichen Ton geben sollen.

61) Die bedeutendste Classe von Pfeifen machen die mit *Zungen* versehenen aus, wozu auch die *Rohrwerkzeuge* gehören. Zwischen diesen und den abgehandelten Flötenwerken liegen diejenigen ungefähr in der Mitte, die mit einem Mundstücke geblasen werden, als das *Horn* (wozu auch das Posthorn gehört), die *Trompete*, die *Posaune* und das *Serpent*. Das Mundstück besteht aus einem metallenen abgestumpften Kegel, welcher auf das Instrument gesteckt wird, in seiner Axe mit einem engen Loche durchbohrt, am obern Ende aber ungefähr halbkugelförmig ausgehöhlt und mit einem etwas breiten Rande versehn ist. Gegen diesen werden die Lippen gedrückt und der durch eine in ihrer Mitte befindliche Oeffnung gepreſste Luftstrom setzt die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen. Nach meiner Ansicht gerathen hierbei die Lippen selbst in Vibrationen, die sich der ausströmenden Luft mittheilen und dadurch diejenigen bedingen, die in dem Instrumente entstehn, wonach diese also den Rohrwerkzeugen mindestens nahe kämen. Uebrigens kom-

1 Wellenlehre S. 525.

Digitized by Google

men bei ihrem Baue und den durch sie erhaltenen Tönen die allgemeinen Gesetze der Luftschwingungen in Röhren zur Anwendung.

Die *Rohrwerkzeuge* und *Zungenpfeifen* lassen sich insgesammt in zwei Hauptclassen theilen, nämlich mit aufliegenden und mit einschlagenden vibrirenden Blechen. Unter die erste Classe gehören zuerst diejenigen Rohrinstrumente, bei denen zwei elastische Blätter von hartem, durch starke Längenfibern ausgezeichneten Holze einander gegenüberstehn, in der Mitte etwas ausgebogen sind und eine feine Oeffnung zwischen sich lassen, durch welche die Luft beim Anblasen dringt und die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen versetzt. Dafs sie dabei selbst vibriren, also die Erzeugung des Tones keineswegs allein in Folge des Einströmens der Luft durch die feine Oeffnung statt finde, geht daraus hervor, dafs eine gleichgestaltete feine Oeffnung in einem harten Körper zur Erzeugung eines Tones nicht genügt, auch die Blätter eine gewisse eigenthümliche Elasticität haben müssen, die schon dann wegfällt, wenn sie trocken sind, auch fühlt man deutlich die Bebungen zwischen den Lippen. Der Ton ist nur dann rein und wohlklingend, wenn die Fibern dieser Blättchen eine durchaus gleichmäfsige und hinlängliche Elasticität haben, nach oben im gehörigen Verhältnisse dünner werden und an den Enden gerade abgeschnitten sind. Hierunter gehören die *Hoboë* und das *Fagott*. Verschieden hiervon ist die *Clarinette*, bei welcher ein Schnabel von sehr hartem (Eben-) Holze eine auf einem feinen Schleifsteine sehr eben geschliffene flache Bahn erhält, auf welcher das Blatt von spanischem Rohre mit seiner gleichfalls eben geschliffenen Bahn so aufgebunden oder unter einem metallenen Ringe festgeschraubt wird, dafs sein wenig abstehendes Ende mit der Spitze des Schnabels eine feine Oeffnung läfst. Die verschiedenen Töne werden bei allen dreien dadurch hervorgebracht, dafs die Lippen beim schwächern oder stärkern Einblasen der Luft die Blätter mehr oder weniger andrücken, wobei man fühlt, dafs sie vibriren und ein blofses Einströmen der Luft zur Erzeugung des Tones nicht genügt.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei allen übrigen vibrirenden Blättchen, die nicht zwischen den Lippen oder im Munde gehalten werden, sondern den Luftstrom aus einem

Digitized by Google

Windkasten erhalten. Zu unbedeutend, um eine nähere Beschreibung zu verdienen, sind die Kinder-Instrumente, Trompeten, Posthörner u. dgl., in denen ein dünnes Metallblech vibrirt und einen blarrenden, widrigen Ton giebt, die Hormeln oder Blarrpfeifen, die dem *Sennenhorne* ähnlich von den Kindern im Frühlinge aus frischem Baste geflochten und mit einem Bastrohre, ähnlich dem des Fagotts, versehn werden, die kleinen Pfeifen aus Schilfrohr, bei denen durch Wegschneiden eines Theils der harten Holzsubstanz an einer Seite ein Theil der feinen innern Haut entblöfst wird und durch die durchströmende Luft zittert. Bei allen diesen Instrumenten können die Vibrationen nicht gleichmäfsig seyn und daher auch keine reinen, wohlklingenden Töne gebildet werden.

Die Zungenstücke haben so ziemlich die nämliche Gestalt, die Zungen mögen aufliegende oder einschlagende seyn. Die Mundstücke der erstern bestehn aus einem metallenen, meistens aus Kupfer verfertigten, oben gekrümmten, zur Hälfte aufgeschnittenen Cylinder R, auf dessen ebener Fläche die Zunge L, wie das Blatt auf dem Schnabel der Clarinette, so aufliegt, dafs sein Ende ein wenig absteht. Diese Röhre wird oben durch die Fassung T T des untern Theiles der Pfeife, des Mundstücks T T V V, herabgesteckt, welches luftdicht verschlossen mit seinem untern, konisch zulaufenden Ende, dem Kegel, in die Windlade pafst, so dafs also nach dem Oeffnen einer Klappe die comprimirte Luft in die Oeffnung S eindringt und durch die Ritze zwischen der Röhre und der Zunge entweicht. Hierdurch geräth die letztere in Schwingungen und theilt diese der eingeschlossenen Luftsäule mit oder diese mufs vielmehr durch das stets wiederkehrende Verschlossenwerden der Röhre selbstständig vibriren und also einen Ton geben. Um den Abstand der Zunge von der Röhre und ihre Elasticität gehörig zu modificiren, damit der erforderliche Ton zum Vorschein komme, dient die Krücke, der starke federnde Draht F f, welcher gegen sie drückt und verschiebbar ist, um ihn mit dem untern gebogenen Theile an der gehörigen Stelle gegen die Zunge drücken zu lassen, wobei im Allgemeinen der Ton höher wird, je tiefer man die Krücke herabdrückt. Hierbei steigt der Ton jedoch keineswegs den Quadraten der Länge umgekehrt proportional, wie Biot[1] aufge-

Fig. 153.

1 Traité T. II. p. 167.

Digitized by Google

funden hat, welcher hieraus folgert, dafs die Vibrationen der Zunge nicht einzig und unmittelbar die Höhe des Tones bedingen. Derselbe will auch gefunden haben, dafs die Zunge sich eigenthümlich biegen und dadurch einen veränderten Ton geben könne, was auch dann geschieht, wenn man das Rohr, die Pfeife, die man auf das Stück T T aufsteckt, um den Ton zu verstärken und klingender zu machen, plötzlich mit der Hand verschliefst. Dafs die hierdurch entstehende Verlängerung der schwingenden Luftsäule auf den erzeugten Ton einen sehr bedeutenden Einfluſs habe, unterliegt keinem Zweifel, indem hierdurch auf gleiche Weise ein eigentliches Instrument gebildet wird, als durch das Aufstecken des Kopfstücks auf die Clarinette. Dann aber kommt die mehrfach erörterte Frage in Betrachtung, ob die von ihrer Elasticität abhängenden Schwingungen der Zunge, oder die Vibrationen der Luftsäule in der Pfeife, die durch deren Länge bedingt werden, als die Höhe des Tones bestimmend zu betrachten sind. Biot entscheidet für das Letztere, weil das Blech nur einen sehr schwachen und unvollkommenen Ton gebe; gründlich ist diese Aufgabe aber durch Weber in Beziehung auf die einschlagenden Zungen untersucht worden, wie sogleich erwähnt werden soll; es läfst sich aber als ausgemacht ansehn, dafs beide Arten von Mundstücken den nämlichen Gesetzen unterliegen, und demnach kann diese Frage hier übergangen werden. Biot und Hamel bedienten sich einer gläsernen Röhre, um das Spiel der Zunge zu beobachten, und erhielten dann den tiefsten Ton, wenn die Zunge ganz frei schwebte, der Ton wurde höher, wenn man die Krücke tiefer herabdrückte, doch hörte der Ton bei gewissen Stellungen derselben ganz auf, wovon die Ursache darin lag, dafs die Zunge zwar vibrirte, aber nicht auf die Bahn der Röhre schlug, also die Oeffnung nicht ganz verschlofs.

Die Töne der Zungenpfeifen sind stark und hellklingend, aber sie sind zugleich oft rauh und scharf. Hamel versuchte daher, die Bahn der Rinne, worauf die Zunge liegt, mit Leder zu überziehn, dieses fest aufzukleben und auf der Oberfläche mit Bimstein zu ebnen, wodurch dann der Ton weicher wurde. Auch die Gestalt der Pfeifen hat auf den Ton einen bedeutenden Einfluſs. Am hellsten wird derselbe, wenn die Pfeifen eine konische Erweiterung nach oben erhalten, laufen

Digitized by Google

sie umgekehrt verjüngt zu, so wird der Ton dumpf und unangenehm, runder und wohlklingender wird er dagegen, wenn die Pfeife oben in einen vereinten doppelten Kegel endet. Den Grund hiervon kann nach Biot die Theorie nicht auffinden; die Erscheinung steht indefs im Zusammenhange mit dem vielfach bestätigten Erfahrungssatze, dafs die Schallwellen in allen hohlen, namentlich auch kugelförmigen Räumen eine eigenthümliche Modification theils der Verstärkung, theils der Milderung ihrer Schärfe erhalten. Fig. 154.

Die Zungenpfeifen werden auch bei denjenigen Registern gebraucht, die die menschliche Stimme (*Vox humana*) nachmachen. Hierbei findet die Eigenthümlichkeit statt, dafs die hierzu dienenden Pfeifen fast alle von gleicher Länge sind, die Tiefe der Töne aber durch die Länge, Breite und abnehmende Steifheit der Zunge bedingt wird. Die Pfeifen sind so eingerichtet, dafs aufser dem Kegel, welcher den Wind zuführt, ihre Länge derjenigen der Zunge gleich ist, oben aber werden sie mit einem konischen Stücke versehn und mit einer Halbkugel gedeckt, in deren Mitte sich ein mäfsig grofses rundes Loch befindet. Sie geben leicht einen näselnden Ton, den man durch zwei seitwärts angebrachte Löcher beseitigen wollte, in der falschen Voraussetzung, dafs der Ton der Stimme auch durch den Nasencanal gebildet werden müsse, wovon gerade das Gegentheil statt findet. Weit angenehmer wird der Ton durch die nicht aufliegenden, sondern einschlagenden Zungen. Bei beiden können Töne nur bis zu einer gewissen Tiefe erzeugt werden, und wenn man über diese noch hinausgehn will, so müssen die Röhren, worin sich das Zungenstück befindet, verlängert werden, wie Grenié[1] aufgefunden und dadurch selbst das Sfufsige C der Orgel nachgebildet hat. Fig. 155.

62) Die bisher beschriebenen Zungen sind solche, die auf der Bahn des Röhrchens aufliegen; man hat aber auch solche, die genau in die Oeffnung des Röhrchens passen und beim Vibriren bald in dieselbe eintreten und als genau passend diese fast gänzlich verschliefsen, bald herausgebogen werden und die Luft frei eindringen lassen. In diesem Falle ist ein metallnes Parallelepipedum R oder auch ein nicht ganz Fig. 156.

1 Nach Biot Traité. II. 173.

bis zur Hälfte nach der Längenaxe weggeschnittener Cylinder am untern Ende verschlossen und hat in dem den weggeschnittenen Theil wieder bedeckenden Bleche einen rectangulären länglichen Einschnitt mit genau eben gearbeiteten Rändern, in dessen inneren Raum eine gehärtete, messingene Feder so accurat paſst, daſs die Luft gar nicht oder mindestens nur wenig neben ihr durchdringen kann. Nach Biot sind solche einschlagende Zungen hauptsächlich neuerdings durch Grenié verfertigt worden, welcher ein Patent auf die mit solchen Pfeifen versehenen Orgeln erhalten hat, man kennt sie jedoch schon länger, und wenn sie nicht schon früher bekannt waren, so sind sie durch Kratzenstein[1] im Jahre 1780 erfunden und genau beschrieben worden. Vor einigen Jahren erregten sie aber aufs neue die Aufmerksamkeit des Publicums durch ihre Anwendung zur Construction der sogenannten *Mundharmonica*, die seitdem ein gewöhnliches Spielwerk geworden ist. Sie besteht aus einer Metallplatte von etwa 0,5 bis 0,75 Lin. Dicke, in welche längliche rectangulär gestaltete Löcher eingeschnitten sind. In diese Oeffnungen, deren selten eine, öfter vier zur Bildung des harmonischen Dreiklangs, aber auch 6 oder 8 vorhanden sind, passen genau durch Hämmern gehärtete und demnach leicht vibrirende dünne Messingbleche, die am einen etwas dickeren Ende sehr fest aufgelöthet und genietet sind und mit der einen Seite der Metallplatten in eine Ebene fallen oder nur unmerklich über diese hervorragen, so daſs sie im Zustande der Ruhe die Oeffnungen völlig verschlieſsen, ohne mit ihren Rändern die der Einschnitte in die Metallplatte eigentlich zu berühren. Bläst man gegen die Bleche mit aufgedrückten Lippen, oder zieht man die Luft ein, so fangen sie an zu schwingen, und es erfolgt ein so lauter vernehmlicher Ton, daſs dessen Ursache nicht in den Vibrationen des Bleches gesucht werden kann, sondern nothwendig in denen der durchströmenden Luft liegen muſs.

Die Töne dieser Pfeifen mit einschlagenden Zungen sind durch W. Weber[2] einer speciellen Untersuchung unterworfen

---

1 Acta Acad. Petrop. 1780. Journ. de Phys. T. XXI. p. 358.

2 Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint, nisi simul et synchronice. Dissert. phys. auct. Weber Halae 1826. 4. Schon früher ist

worden. Tönt die auf der Röhre unbeweglich befestigte Zunge allein, ohne dafs sie in eine den Ton bedingende Röhre geschoben ist, auf ähnliche Weise als bei der Mundharmonica, so ist es nicht nothwendig, dafs die Zunge völlig genau in die Oeffnung der Metallplatte passe, wenn sie nur durch den Luftstrom in die ihrer Länge, Breite, Dicke und Elasticität proportionalen[1] Schwingungen versetzt wird. Hiervon hängt denn auch die Höhe des Tones ab, denn wenn man mit einer feinen Messerspitze das Ende der Zunge aufhebt und losschnellen läfst, so hört man einen leisen Ton, welcher jedoch hinsichtlich der Höhe mit demjenigen identisch ist, den man beim Durchströmen der Luft wahrnimmt. Da dieses allezeit erfolgt, so läfst sich hiernach also leicht als Regel ansehn, dafs die Tonhöhe in diesen Fällen ausschliefslich durch die Schwingungen der Zunge bedingt werde, dafs die hierdurch erzeugten Luftwellen aber, deren Längen der bereits durch die Beschaffenheit der Zunge bestimmten Tonhöhe proportional sind, blofs dazu dienen, den Ton heller und wohlklingender zu machen. Wenn man also nicht annimmt, dafs der erzeugte Ton blofs durch die Stöfse der Luft, wie bei der *Sirene*, entstehe, vielmehr Schwingungsknoten in der Luft gebildet werden, die der tönenden Luftsäule zugehören, so mufs einer derselben aufserhalb der Zunge in der freien Luft liegen. Unter der hinlänglich begründeten Voraussetzung, dafs die Töne der Sirene blofs durch die Pulsus der im Ausströmen regelmäfsig periodisch unterbrochenen Flüssigkeit entstehn, scheint mir die letztere Annahme auch aus dem Grunde die wahrscheinlichere, weil der Ton der Sirene von dem der Mundharmonica merklich verschieden ist. Eine Hauptschwierigkeit erhebt sich aber dann, wenn das Zungeninstrument mit einer Pfeife durch Einstecken in dieselbe verbunden wird, was den erzeugten Ton ungleich wohlklingender macht, dann aber die Beantwortung der Frage fordert, auf welche Weise zwei verschiedenen Gesetzen ihrer Schwingungen unterliegende, also einzeln verschiedene Tonhöhen gebende Kör-

---

hierüber gehandelt worden in Wellenlehre S. 522. Weitere Untersuchungen von demselben über diesen Gegenstand findet man in Poggendorff's Ann. XVI. 193. 415. XVII. 193.

1 Vergl. L. Euler Acta Petrop. 1779. T. I. p. 139.

per, wenn sie mit einander verbunden sind, sich gegenseitig so bedingen, dafs sie gemeinschaftlich den nämlichen Ton geben.

W. Weber[1] hat diese Aufgabe ausführlich untersucht und gestützt auf eine schätzbare Reihe von Erfahrungen eine vollständige Theorie dieser Erscheinungen aufgestellt, wovon hier nur die wesentlichsten Elemente mitzutheilen sind. Das Zungeninstrument kann auf zweifache Weise mit der Pfeife verbunden seyn, zuerst wenn die Zunge sich innerhalb und zweitens wenn sie sich aufserhalb der Röhre befindet, wie die Fig. 157. u. 158. Zeichnung dieses anschaulich macht. Die Zunge kann bei jeder dieser beiden Verbindungsarten auf zweifache Weise zum Vibriren gebracht werden, nämlich entweder indem die an ihrer Aufsenseite befindliche Luft verdichtet ist, die an ihrer Innenseite aber atmosphärische Dichtigkeit beibehält, oder indem die erstere von gewöhnlicher Dichtigkeit ist, die letztere aber verdünnt wird. Ferner können die auf solche Weise mit dem Zungeninstrumente verbundenen Pfeifen entweder am andern Ende offene oder bedeckte seyn, ein Unterschied, welcher jedoch unberücksichtigt bleiben darf, indem in der Regel offene zur Anwendung kommen und daher hier nur untersucht werden. Sind also auf irgend eine der angegebenen Arten ein Zungeninstrument und eine Röhre mit einander verbunden, so treten wieder zwei Fälle ein, nämlich dafs entweder die Töne, die durch die Vibrationen der Zunge erzeugt werden, denen gleich sind, welche die in der Pfeife eingeschlossene Luftsäule für sich schwingend geben würde, oder dafs beide verschieden sind. Der erstere Fall hat gar keine Schwierigkeiten, denn es folgt alsdann von selbst, dafs die synchronischen Schwingungen beider den ihnen zugehörigen Ton gemeinschaftlich erzeugen; im zweiten Falle aber, nämlich wenn die in dem Rohre der Pfeife eingeschlossene Luftsäule in Folge ihrer Länge einen andern Ton geben würde, als welcher den Schwingungen der Zunge zugehört, gehn aus den Versuchen folgende Gesetze rücksichtlich der Tonhöhe beider zu einer Zungenpfeife verbundener tönender Körper hervor: wenn die äufsere Luft dichter ist, als die im

1 Aufser der genannten Dissertation in Poggendorff's Annalen XVI. 193 ff. 415 ff. XVII. 193.

Digitized by Google

Röhrchen eingeschlossene, so kann der Ton nur tiefer werden, als derjenige, welchen die vibrirende Zunge allein giebt, ist aber die äufsere Luft dünner, als die innere, so kann der gemeinschaftliche Ton nur höher werden. Hieraus folgt, was auch weiter fortgesetzte Untersuchungen bestätigen, dafs unter allen Bedingungen Isochronismus beider schwingender Körper statt finden müsse, weil sonst ein doppelter Ton entstehn würde, dafs also zunächst die Schwingungen der Luftsäule durch die Vibrationen der Zunge bedingt werden, wie aus dem Klange des einer schwingenden Luftsäule zugehörigen Tones unwidersprechlich folgt, zugleich aber die Vibrationen der Zunge durch die Länge der Luftsäule eine Modification erleiden, vermöge deren sie nicht blofs schneller, sondern auch langsamer vibriren, als sie frei schwingend thun würden. Aus den Versuchen, welche Weber anstellte, um das Verhältnifs der Tonhöhen zu den Längen der schwingenden Luftsäulen bei Zungenpfeifen aufzufinden, geht hervor, dafs für $a = 0{,}25$-mal der Länge einer Luftsäule, die für sich allein in einer an beiden Enden offenen Röhre mit einer gegebenen Zunge isochronisch schwingt, folgende Veränderungen eintreten.

1) Wenn die angesetzte Röhre allmälig bis zu a verlängert wird, so nimmt die Tiefe des erzeugten Tones nur unmerklich zu.

2) Wächst die Länge der Pfeife von a bis 2a, so wird der Ton zwar merklich tiefer, aber nicht im gleichen Verhältnisse, als die Länge der schwingenden Luftsäule erfordern würde.

3) Von 2a bis 3a wächst die Tiefe des Tones fast ebenso schnell, als die Länge der Luftsäule.

4) Von 3a bis 4a schreitet die Vermehrung der Tiefe schneller fort als die Zunahme der Länge und erreicht bei 4a genau die Octave von dem Tone, welchen die Zunge allein schwingend giebt.

5) Bei weiterer Verlängerung der Röhre springt der Ton plötzlich wieder auf den ursprünglichen zurück und wird auf eine ähnliche Weise, als in den vier angegebenen Fällen, in ungleicher Progression durch Vermehrung der Länge von 4a bis 8a nur um eine Quarte tiefer.

6) Bei zunehmender Länge springt abermals der Ton wieder auf die Höhe des ursprünglichen zurück, seine Tiefe

Digitized by Google

wächst dann wieder, und zwar gleichfalls erst langsamer, dann schneller, bis sie bei 12 a die kleine Terz erreicht hat. Bei den Vermehrungen der Längen der in den angesetzten Röhren eingeschlossenen Luftsäulen war also die Zeit einer einzelnen Schwingung für

$$4a, 8a, 12a, \ldots = 1:2, = 3:4, = 5:6,$$

und würde also, wie auch fortgesetzte Versuche bestätigten, wie 7:8, 9:10, 11:12..... fortgehn. Dafs hierbei in der schwingenden Luftsäule verschiedene Schwingungsknoten gebildet werden, wonach dieselbe auf gleiche Weise als in den Labialpfeifen schwingt, möge hier nur im Allgemeinen bemerkt werden. Bei der Theorie, auf welche Weber diese sämmtlichen Erscheinungen zurückführt, liegt das Princip zum Grunde, dafs zwei Pendel, die für sich einzeln ihre Schwingungen in ungleichen Zeiten vollbringen würden, miteinander vereint in Zeiten schwingen, die zwischen den beiden, jedem einzelnen zugehörigen Zeiten in der Mitte liegen. Es versteht sich dann hiernach von selbst, dafs die beiden schwingenden Körper, die Zunge und die Luftsäule, vereint isochronisch schwingen. Die ursprünglichen oder freien Schwingungen der Zungen erfolgen nach denjenigen Gesetzen, die Euler bereits aufgefunden hat, ihre Abweichungen hiervon in den Zungenpfeifen werden durch den vermehrten Druck der Luft gegen dieselben und durch den Stofs der gleichzeitig in Schwingungen versetzten Luftsäulen auf gleiche Weise hervorgebracht, als wenn ein anderer schwingender Körper mit ihnen verbunden wäre. Die Schwingungen der Luftsäulen unterliegen im Allgemeinen dem bereits oben §. 39. nachgewiesenen Gesetze, wonach die Länge einer zwischen ihren Schwingungsknoten oscillirenden Luftsäule $= \frac{c}{n}$ ist, wenn c den Raum bezeichnet, den der Schall in 1 Sec. zurücklegt, n aber die Anzahl der Oscillationen in der nämlichen Zeit. Wird dann die Länge der schwingenden Luftsäule (der hinzugekommenen Pfeife) stufenweise vermehrt, so können die äufsersten Schwingungsknoten nicht allezeit an das Ende derselben fallen, vielmehr liegen sie tiefer im Innern der Röhre oder rücken über das Ende derselben hinaus in die freie atmosphä-

1 Acta Petrop. 1779. P. I. p. 134.

Digitized by Google

rische Luft, wenn man sich die nicht vollständige Länge der letzten schwingenden Abtheilung als vervollständigt denken will. Weber stellt hierüber die zu seiner Theorie gehörigen zwei Sätze auf:

1) Wenn die Aufsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdichteter Luft communicirt, so ist die Länge der in der Pfeife schwingenden Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröfser als Null und kleiner als eine halbe schwingende Abtheilung ist.

2) Wenn die Aufsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdünnter Luft communicirt, so ist die Länge der Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröfser als eine halbe und kleiner als eine ganze schwingende Abtheilung ist.

63) Die Zungenpfeifen im Allgemeinen, mit solchen Zungen, wie im vorletzten §. beschrieben worden sind, kommen bei verschiedenen Registern der Orgelwerke in Anwendung[1], wobei man sich auch der sogenannten einschlagenden Zungen bedient; von der verbesserten hat man neuerdings einen interessanten Gebrauch zu machen angefangen. Die Verbesserung beruht hauptsächlich auf einer genauern Bearbeitung der vibrirenden Bleche, die sehr elastisch und gleichmäfsig gestaltet, insbesondere aber so unbeweglich befestigt seyn müssen, dafs blofs ihr freier Theil ohne bedingenden Einfluss des befestigten vibrirt, wozu dann noch eine zweckmäfsige Form der mit den Zungeninstrumenten verbundenen Pfeifen kommt. Auf diese Weise hat Schultz zu Wien den an sich schon angenehmen Ton der Mundharmonica noch verbessert, die einzelnen tönenden Zungen zu einem Instrumente vereinigt, dieses mit einer Tastatur und einem Blasebalge verbunden, welcher die allen einzelnen Tönen zugehörigen Pfeifen aus einer gemeinschaftlichen Windlade anbläst, und so das *Aeolikon* oder *Aeolodikon* erhalten[2]. Der Vorzug dieses Instruments besteht

1 Chladni verweist zur nähern Kenntnifs der Orgelpfeifen auf die musikalische Zeitung XIII. Jahrg. Nr. 33 u. 34. XIV. Jahrg. Nr. 34 bis 36.

2 Diesem ähnlich sind Wheatstone's *Symphonium* (Quarterly Journ. of Sc. cet. New Ser. N. XIV. 398.) und sonstige im Baue verschiedene, dem Wesen nach ähnliche, verschieden benannte Instru-

darin, dafs die Töne angenehmer sind, als die gewöhnlichen der Orgeln, namentlich die der Labialpfeifen, auch haben die nach dieser Art construirten Zungenpfeifen den Vortheil, dafs der Ton nicht blofs so lange anhält, als der Spieler es wünscht, sondern dafs auch ein Steigern desselben und ein Sinken vom leisesten Piano bis zum stärksten Forte ohne sonstige Veränderung des Tones damit erreichbar ist.

Ein anderes unter diese Classe gehöriges Instrument, welches jedoch hauptsächlich als ausländisches nähere Aufmerksamkeit verdient, ist das *Scheng*. Prechtl[1] kannte dasselbe früher aus einer undeutlichen Beschreibung[2], wonach es zwei solche Instrumente, ein gröfseres mit 19 und ein kleineres mit 13 Pfeifen, geben soll, die hauptsächlich zur Begleitung des Gesanges gebraucht werden, erhielt aber später durch den Capitain Eduard Watts ein Exemplar des kleineren, wovon er eine Beschreibung mittheilt. Das chinesische *Scheng* oder *Tsing*, von welchem man in Europa den Bau der einschlagenden Zungen entnommen haben soll[3], besteht aus einer Halbkugel, aus deren nach oben gerichteter Durchschnittsfläche 13 seitwärts mit einer Oeffnung versehene Röhren von ungleicher Länge eingesenkt sind; drei derselben sind 15 Z., 4 sind 9 Z., die vier folgenden 6 Z. und die zwei kürzesten 4 Z. lang, die Oeffnung befindet sich bei allen etwa 1 Z. über der Fläche, und die Pfeifen sind so symmetrisch geordnet, dafs man die Löcher mit den Fingern bequem schliefsen kann. In die übrigens luftdicht verschlossene Halbkugel tritt von der Seite her eine Röhre ein, die mit dem Munde nicht ohne beträchtliche Anstrengung angeblasen wird, wenn das Instrument tönen soll. Jede Pfeife tönt nur dann, wenn das Seitenloch zugehalten wird, die Ursache des Tones aber ist eine im innern, zur Hälfte aufgeschnittenen Theile des Röhrchens befindliche Zunge, wonach also auch dieses Instrument

---

mente. Nicht zweckmäfsig ist dasjenige, welches aus Mechan. Magaz. in Dingler's polyt. Journale Th. XXXVI. S. 270. beschrieben wird.

1 Jahrbücher des polytechn. Instituts. Th. XIII. S. 215.

2 Aus den Mémoires concernant l'Histoire, les sciences, les arts cet. des Chinois. Par les missionaires de Pe-Kin.

3 Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. New Ser. N. XIV. p. 398.

Digitized by Google

zu der Classe der Zungenpfeifen gehört, bei denen der Ton bekanntlich ausbleibt, wenn die Luft aus einer Oeffnung unterhalb des Zungeninstruments oder des sogenannten Mundstücks entweicht. Der Ton der Zunge kann durch etwas aufgeklebtes Wachs um eine volle Secunde tiefer gemacht werden, was mit den Gesetzen pendelartiger Schwingungen, wozu die Vibrationen solcher Bleche zu rechnen sind, genau übereinstimmt.

Die gemeine *Maultrommel*, zuweilen auch *Mundharmonica* genannt, deren Töne bei kunstmäfsiger Darstellung einen hohen Grad der Annehmlichkeit, für gröfsere Säle aber zu geringe Stärke haben, gehört unter diese Classe von Instrumenten. Die Töne werden zunächst durch die Vibrationen der stählernen Zunge erzeugt und dadurch klingender gemacht, dafs man die äufsern stählernen Schenkel derselben zwischen den Zähnen klemmt, doch ist die neben der schwingenden Zunge vorbeiströmende Luft, gerade wie bei den Zungenpfeifen, der eigentliche tönende Körper. Das Instrument gewinnt an Interesse dadurch, dafs die Luft nach entgegengesetzten Richtungen strömen kann, wodurch eine zwar merkliche, im Ganzen aber nicht sehr bedeutende Veränderung des Tones bewirkt wird. Zur Bildung der Töne dient hauptsächlich die in der Mundhöhle eingeschlossene Luft, und die Zunge des Spielers vermag durch Zurückziehung oder Hervorstreckung diesen tönenden Luftraum bedeutend zu verengern und zu erweitern, worauf die Möglichkeit beruht, Töne von sehr ungleicher Höhe mit der nämlichen schwingenden Zunge des Instruments hervorzubringen, die mit dem tiefsten Tone der Zunge oder dem Grundtone mathematisch genaue Intervalle bilden und also vollkommen rein sind. Wheatstone[1] hat zu zeigen gesucht, auf welche Weise durch das Zusammenfallen verhältnifsmäfsiger Schwingungen die Töne entstehn müssen, Scheibler[2] aber wählt solche Maultrommeln, deren jede einen genau stimmenden Grundton giebt, vereinigt diese auf zwei Scheiben in einem Kreise neben einander, und indem

1 Quarterly Journ. of Sc. cet. New Ser. N. V. 175. Schweigg. Journ. LIII. 328.

2 Der physikalische und mathematische Tonmesser. Essen 1834. 8. S. 77.

Digitized by Google

er dann jederzeit diejenige abwechselnd anwendet, die der Tonart zugehört, in welcher er spielt, so ist die erzeugte Musik allezeit vollkommen rein und blofs bei den Uebergängen aus einer Tonart in die andere, also beim Wechsel der Maultrommeln, findet die gleichschwebende Temperatur statt, wodurch das Ohr auf eine sehr angenehme Weise afficirt wird. Er nennt dieses Instrument *Aura*. Theoretisch liefse sich diese interessante Aufgabe noch weiter verfolgen.

Ueber das gröfste und wirksamste Instrument, die *Orgel*, entlehne ich einige interessante geschichtliche Thatsachen aus dem, was G. U. A. Vieth[1] mitgetheilt hat. Die erste Idee hierzu gab vermuthlich die seit den ältesten Zeiten bekannte Pan- oder Papageno-Flöte und die gemeine Sackpfeife. Schon 150 Jahre vor C. G. construirte Ctesibius seine Wasserorgel, die Vitruv[2] nur unvollkommen beschreibt. Diese alten Orgeln waren tragbar. Im Jahre 753 erhielt Pipin eine solche vom byzantinischen Kaiser Constantinus Kopronymus zum Geschenke, wodurch diese Instrumente zuerst im Abendlande bekannt wurden. Carl d. G. erhielt eine ebendorther und Ludwig der Fromme liefs 826 eine zu Aachen erbauen. Die jetzigen Windorgeln, anfangs von geringem Umfange kommen in Deutschland zuerst im 13. Jahrhundert vor, und ein Deutscher, Bernhard, Organist in Venedig, brachte 1480 das Pedal dabei an. Von dieser Zeit an sind sie vielfach verbessert und oft von ungeheurer Gröfse erbaut worden. Unter die gröfsten gehören die in der Peterskirche zu Rom von 100 Stimmen und die in der Nicolaikirche zu Hamburg von 71 Stimmen und einem 32fufsigen Principal von englischem Zinn an der Fronte; letztere hat 75000 Mark gekostet. Die von Eugen Casparini zu Görlitz gebauete Orgel hat 57 Stimmen, 3270 Pfeifen, und kostete 25000 Thaler[3].

64) Das vollkommenste Werkzeug, vermittelst dessen Töne durch secundäre Schwingungen der Luftsäule hervorgebracht werden, ist das Stimmorgan bei warmblütigen Thieren über-

1 Anfangsgründe der Mathem. Th. II. Abth. 1. Leipz. 1824. S. 451.

2 De Archit. L. X. c. 13.

3 Mehr hierüber findet man in G. C. B. Busch Handbuch der Erfindungen. Art. Orgel. Vergl. Meister de antiquo hydraulo. N. Comm. Gott. 1770. T. II. p. 152.

Digitized by Google

haupt und bei den Menschen insbesondere. Wenn ich hier von den vielen ausführlichen Untersuchungen abstrahire, die von den Physiologen hierüber angestellt worden sind, und mich auf die Hauptsachen beschränke, die in physikalischer Hinsicht zunächst in Beziehung auf die menschliche Stimme Berücksichtigung verdienen, so kommt die Theorie dem Wesentlichen nach auf Folgendes zurück.

Die Stimme gehört nach Magendie und Biot[1] zur Classe der Zungenpfeifen und zwar der freischwebenden einschlagenden Zungen. Der eigentliche Sitz derselben ist der Kehlkopf, wo die Töne gebildet werden und dann sowohl durch die unterhalb befindliche Luftröhre, als auch durch die oberhalb befindlichen Theile, als die Mundhöhle, das Gaumsegel, die Zähne und Lippen, vielfache Modificationen erleiden. Behalten wir zu besserer Erläuterung die Aehnlichkeit der Pfeifen mit einschlagenden Zungen bei, so dienen die Höhlungen der Lunge als Windbehälter, aus denen die Luft durch die Exspirationsmuskeln in die Luftröhre getrieben wird. Wie bei den durch Grenié verfertigten Zungenpfeifen §. 62. die Länge des Windrohrs unter dem tönenden Apparate von Einfluſs ist, so findet das Nämliche auch bei der Stimme rücksichtlich der Luftröhre statt, die aus einzelnen knorpeligen, mit membranösen wechselnden Ringen besteht und daher einer, wiewohl geringen, Verkürzung und Verlängerung fähig ist. Der Sitz des Stimmorgans ist der Kehlkopf (*larynx*), eine länglich viereckige, von oben nach unten allmälig verengte, dicht hinter der Mundhöhle liegende und gleichsam eine Fortsetzung derselben bildende Höhle, die aus mehrern Knorpeln und diese verbindenden Bändern und aus Muskeln zusammengesetzt und mit der aus der Mundhöhle bis in die Lungen fortgehenden Schleimhaut bekleidet ist. In demselben befinden sich die *Stimmbänder* oder Stimmritzenbänder (*ligamenta vocalia seu glottidis*), zwei aus deutlichen Fasern gebildete rechtwinklige, einander parallele Membranen, die einen engen Zwischenraum, die *Stimmritze* (*glottis seu rima glottidis*), zwischen sich lassen, durch welche die Luft dringt, ehe sie zur Mundhöhle gelangt. Die Stimmritze ist ein sehr zusammengesetztes Organ, bei Männern mehr entwickelt als

1 Traité T. II. p. 190.

Digitized by Google

bei Weibern, im Ganzen sieht man aber, dafs sie nach Art zweier gegeneinander gerichteter vibrirender Blätter oder Zungen in den sogenannten Rohrwerkzeugen einen Ton zu erzeugen vermögen. Aufser andern Muskeln des Kehlkopfes befinden sich in demselben mehrere Erweiterer und Verengerer der Stimmritze, wozu auch der Schild- oder Kehldeckelmuskel gehört, welcher den Kehldeckel herabzieht und dadurch das Stimmorgan verengert.

Dafs der Kehlkopf und speciell die Stimmritze dasjenige Organ sey, wodurch die Stimme gebildet wird, ergiebt sich sehr einfach aus dem Aufhören derselben, sobald die Luftröhre unterhalb des Kehlkopfes eine Oeffnung erhält, aus welcher die Luft entweichen kann[1], oder nach Zerstörung dieser Theile, ja sogar jede krankhafte Affection derselben verändert die Stimme und hebt sie bei grofser Bedeutsamkeit ganz auf. Aufserdem liegt ein wichtiger Beweis in den Beobachtungen von Magendie, welcher bei Hunden die Vibrationen der Stimmbänder so lange wahrnahm, als die erzeugten Töne dauerten, wonach also die Art, auf welche vermittelst dieses Organs die Töne entstehn, nämlich wie bei den Rohrwerkzeugen und namentlich den Zungeninstrumenten, bei denen die Luft durch eine Zunge, wie bei der Mundharmonica, zum Vibriren gebracht wird, kaum mehr zweifelhaft zu seyn scheint. Die Vorstellung, dafs die Töne im Allgemeinen wie bei Blasinstrumenten erzeugt werden[2], gehört unter die älteren und stützt sich auf die Aehnlichkeit beider tönenden Apparate, desgleichen auf das Pfeifen mit dem Munde und auf viele Versuche, aus denen hervorging, dafs blofs die Erweiterung und Verengerung der Stimmritze eine Veränderung der Höhe und Tiefe des Tones bewirkt, nicht aber die Spannung der Stimmbänder. Andere betrachten die Stimmbänder als schwingende Membranen, deren Vibrationen denen der gespannten

1 Magendie kannte einen Mann, welcher eine Oeffnung in der Luftröhre unter dem Kehlkopfe hatte und daher eine Binde mit einer Klappe trug, um diese stets zu verschliefsen, damit er reden konnte. Biot Traité II. 193.

2 Hir. Fabr. ab Aquapendente opp. om. anat. et physiol. Lips. 1687. fol. Cap. IV. p. 2. K. F. S. Liskovius Theorie der Stimme. Leipz. 1814. 8.

Digitized by Google

Saiten ähnlich seyn sollten[1]. Man stützte sich hierbei auf die Aehnlichkeit der Stimmbänder mit gespannten Saiten und auf die Resultate der Versuche, nach denen die Stimme aufhörte, wenn man die Stimmbänder drückte, aber fortdauerte, wenn man sie, mit Ausnahme ihrer Ränder, vom Kehlkopfe ablöste, auch verschieden hohe Töne entstanden, wenn man sie verschieden spannte. Die beiden letzten Thatsachen beweisen gar nichts, dann auch bei den vibrirenden Zungen entsteht der Ton nur durch die Vibrationen der äufsersten Enden, wenn gleich diese aus anderweitigen leicht begreiflichen Ursachen ohne die eigenthümliche Beschaffenheit der ganzen Zungen meistens überall nicht statt finden können, auch verursacht eine Veränderung der Elasticität, Breite, Länge und Spannung der vibrirenden Blätter sogleich eine bedeutende Veränderung der Tonhöhen.

Eine nicht hinlänglich klare Einsicht in das eigentliche Verhalten schallender Körper führte in Folge der erwähnten Erscheinungen zu der Hypothese, dafs beide Ursachen gleichmäfsig zusammenwirkten, ein Mittelweg, den die Physiologie zuweilen einschlägt, die Physik aber nicht betreten darf, weil sie jederzeit den genauen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung in scharfer Begrenzung nachweisen mufs und gegründeten Einwendungen nicht durch partielle Zugeständnisse auszuweichen suchen darf. Dodart[2] äufserte die genannte Meinung, und sie fand seitdem bei mehrern Gelehrten Beifall[3], ist jedoch mit den physikalischen Gesetzen durchaus unvereinbar. Es folgt nämlich aus den vorhergehenden Untersuchungen über die Schwingungen gespannter Saiten ganz unbedingt, dafs die Stimmbänder viel zu kurz und keineswegs hinlänglich gespannt sind, um Töne von solcher Tiefe, als die der Bafsstimmen sind, oder von einer Stärke, wie sie nicht blofs das menschliche Organ, sondern selbst das sehr kleiner Vögel zeigt, oder nur überhaupt von diesem eigenthümlichen Klange, zu erzeugen, noch dazu, wenn sie durch

1 A. Ferrein in Mém. de Par. 1741. p. 409., wo die ältere Literatur sehr vollständig mitgetheilt ist. Portal Mém. T. II. p. 308. Der nämlichen Meinung war auch Haller.

2 Mém. de Paris. 1700. 1706 u. 1707.

3 Meckel Handbuch der menschl. Anatomie. Th. IV. S. 401.

Digitized by Google

einen so weichen Körper, als die Luft ist, in Schwingungen versetzt werden. Auf gleiche Weise unmöglich ist es, das Organ der Stimme streng auf die sogenannten Labialpfeifen zurückzuführen, denn diese erfordern für den tiefsten Ton einer Bafsstimme eine achtfufsige Pfeife, und wollte man auch die tiefen Töne bauchiger Medicingläser zu Hülfe nehmen, so ist doch eine so grofse Höhlung, als zu den tiefsten Tönen erforderlich seyn würde, bei Menschen auf keine Weise aufzufinden. Hiernach scheinen also die einschlagenden Zungen, wie die §. 64. beschriebenen, die Functionen des Stimmorgans am besten zu erklären, mit denen namentlich Grenié durch nicht eben bedeutende Verlängerung des unterhalb des Zungeninstruments befindlichen Rohrs die tiefsten Töne zu erzeugen vermochte und die noch obendrein der menschlichen Stimme durch eine oberhalb befindliche Höhlung sehr nahe ähnlich gemacht werden.

Obgleich man dieses als ausgemacht betrachten kann, so bleibt dennoch das Stimmorgan im höchsten Grade merkwürdig, theils wegen des Klanges der erzeugten Töne, theils wegen des Umfanges der Scale mancher Stimmen mit Rücksicht auf die geringen Veränderungen, deren dieser Apparat fähig ist. Der Wohlklang des Tones beruht nach der angegebenen Hypothese auf der Gleichmäfsigkeit der Stimmbänder und der Thätigkeit der zu ihrer Spannung dienenden Muskeln, der Umfang der Stimme aber auf den Grenzen der Erweiterung und Verengerung der Stimmritze, desgleichen auf dem Unterschiede der Gröfse des vibrirenden Theiles der Stimmbänder. Magendie bemerkte nämlich bei Hunden, dafs bei tiefen Tönen die Stimmbänder in ihrer ganzen Länge vibrirten, bei wachsender Höhe aber sich mehr näherten und zunehmend weiter an einander schlossen, so dafs zuletzt nur eine kleine Oeffnung und ein geringer schwingender Theil übrig blieb. Aufser dieser verschiedenen Weite der Stimmritze wird die Höhe und Tiefe der Töne wo nicht erzeugt, doch befördert durch die Bewegungen des Kehlkopfes, welcher bei hohen Tönen in die Höhe gezogen wird, um den Schildknorpel vom Ringknorpel zu entfernen, dadurch die Stimmritze zu verengern und ihre Bänder zu spannen, welches wirksamer ist, als die gleichzeitige Verlängerung und Verengung der Luftröhre. Bei tiefen Tönen findet das Gegen-

Digitized by Google

theil statt. Dem Kehldeckel (*epiglottis*) spricht Haller[1] allen Einfluſs ab, weil die Töne vollkommen gebildet aus der Stimmritze kommen sollen und auch die Vögel ohne dieses Organ singen; zugleich werden die Töne rücksichtlich ihrer Höhe durch Einschnitte in den Kehldeckel und durch Aufziehn oder Wegnehmen desselben nicht geändert; allein Meckel[2] zeigt aus andern Versuchen, daſs die Höhe und Tiefe der Töne allerdings durch das Herabgehn der Epiglottis in den Raum über dem Kehlkopfe und durch das Anspannen ihrer Muskeln bedingt wird, auch hat Grenié durch ein ihr nachgebildetes Stückchen Papier eine Modification der Töne bei seinen Zungenpfeifen hervorgebracht. Bennati[3] führt noch einen besondern Grund für den Einfluſs des Zäpfchens an, den auch Granville durch seine Beobachtungen unterstützt, wonach Baſssänger ein dickes Zäpfchen, Sopranisten dagegen stets ein sehr kleines, spitzes und bewegliches haben sollen[4]. Kratzenstein[5] ist gleichfalls der Meinung, daſs die durch die Stimmritze erzeugten Töne durch den Kehldeckel, die Wölbung des Gaumens, die Zähne und auch die Lippen bedeutend modificirt werden. Den bedeutendsten Einfluſs, wenn auch nicht auf die Bildung und Höhe der Töne, doch auf den Klang derselben, hat sicher die Mundhöhle, und mehrere theils erwähnte, theils noch namhaft zu machende Erscheinungen beweisen die merkwürdigen Veränderungen, welche die in Höhlungen eingeschlossenen Luftmassen rücksichtlich der in ihnen gebildeten Schallwellen erleiden. Die eigenthümliche Gestaltung und Gröſse dieser Höhlungen, ihre Begrenzung durch die Zähne, die Form und Beschaffenheit der Zähne und Lippen, tragen viel dazu bei, den angenehmen Klang der Stimme zu erhöhen; die Oeffnungen aber, welche in die Nasencanäle führen, werden durch das Gaumsegel verschlossen, und wenn dieses nicht statt findet, so verbreitet

1 Elem. Physiol. C. IX. S. III. 59.

2 A. a. O.

3 Annales des Sciences naturelles. XXIII. 32.

4 Omodei Annali universali di medicina. 1830. Jun. Daraus in Julius und Gerson Magazin d. ausländ. Literatur d. gesammten Heilkunde. 1831. Jul. u. Aug.

5 C. Th. Kratzenstein Tentamen resolvendi problema ab Acad. Sci. Imp. Pet. ad annum 1740 propos. Petrop. 4.

Digitized by Google

sich der Schall auf diesem Wege, erleidet einen Abbruch seines in der Mundhöhle erhaltenen Klanges und wird näselnd.

Diese Theorie hat allerdings inneren Zusammenhang und findet in den Versuchen von Grenié, wonach solche Pfeifen, die in ihrem Baue grofse Aehnlichkeit mit dem menschlichen Sprachorgane haben, die Töne des Gesanges ziemlich genau nachbilden, eine bedeutende Unterstützung, weswegen ich dieselbe auch in nöthiger Vollständigkeit aufzunehmen und voranzustellen für gut fand. Entscheidende Gründe, die dieselbe vollständig zu widerlegen vermöchten, giebt es zwar nicht, wohl aber sind auch andere Hypothesen aufgestellt worden, die auf gleiche oder selbst gröfsere Angemessenheit Ansprüche machen. Liskovius[1] gesteht zu, dafs die Stimmbänder beim Singen zittern, allein er betrachtet dieses nicht als Ursache, sondern als Folge des Tönens, wovon er den Grund im Durchströmen der Luft durch die Stimmritze und hierdurch bedingten Schwingungen derselben findet. Auch beim sonstigen Durchströmen der Luft durch enge Oeffnungen entstehn nach seiner Ansicht Töne, deren Höhe mit der Verengerung der Oeffnung wächst; bei der menschlichen Stimme findet dann das Nämliche und zwar auf gleiche Weise als beim Flöten mit dem Munde statt. Zur Unterstützung dieser Ansicht dienten folgende wesentlichste Resultate von Versuchen. Blofs die untern Kehlbänder (die Stimmbänder) gaben einen Ton, ohne Zuthun der obern, durch die sich zwar gleichfalls Töne hervorbringen liefsen, allein bei lebenden Menschen ist dieses unstatthaft, da sie sich stets mit den untern parallel bewegen und daher stets in so grofsem Abstande von einander bleiben. Stärkere Spannung der Kehlbänder machte den Ton tiefer, weil dadurch gleichzeitig die Stimmritze erweitert wurde. Die Berührung der Stimmbänder mit dem Finger hinderte die Entstehung des Tones nicht, wohl aber ihre Trockenheit; die Gröfse der Oeffnung zwischen den Stimmbändern bedingte die Höhe so sehr, dafs die Töne selbst dann höher wurden, wenn Liskovius die Finger über beide Enden der Stimmritze ohne Berührung und bei unveränderter Gröfse derselben hielt. Blofse Verstärkung des Luftstroms machte den Ton bis zu einer Quinte höher, zugleich aber scharf; ferner glichen die Töne

1 A. a. O.

Digitized by Google

dann denen der sogenannten Bruststimme, so lange die Stimmbänder sich näherten und selbst hinten schlossen, vorn aber eine kleine Oeffnung liefsen; wurden sie aber zugleich gespannt, so erfolgten bei zunehmender Verengerung der Stimmritze die sogenannten *Falset* (Fistel)-Töne, bis zum gänzlichen Schliefsen. Bei den Tönen der Bruststimme geriethen die Stimmbänder in starke Bebung, die sich der ganzen Luftröhre mittheilte, aber bei den Falset-Tönen nicht allmälig, sondern plötzlich aufhörte.

Liskovius suchte hauptsächlich die ältere Hypothese zu widerlegen, wonach die Stimmbänder als schwingende Saiten betrachtet wurden, was einen so grofsen Aufwand gar nicht verdiente, er kam daher zu dem allerdings richtigen Resultate, dafs die Töne der Stimme durch Luftschwingungen hervorgebracht würden, liefs aber dabei die Hauptfrage unerörtert, zu welcher der verschiedenen Arten von Luftschwingungen diese gehören. Dennoch ist einer der angegebenen Versuche geeignet, diese Frage der Entscheidung näher zu bringen. Wenn nämlich das Tönen der Stimme wirklich fortdauert, ungeachtet beide Stimmbänder mit den Fingern berührt werden, so kann dieses Organ nicht zu den Rohrwerkzeugen und namentlich nicht zu den einschlagenden Zungen gezählt werden. Ein unterstützendes Argument geht auch aus dem Resultate hervor, dafs die Töne bei stärkerer Spannung der Bänder tiefer wurden, da sie vielmehr der gleichzeitig erweiterten Stimmritze ungeachtet höher werden mufsten.

Savart[1] erklärt sich als Gegner der aufgestellten Theorie, wonach das Organ der menschlichen Stimme zu den Rohrwerkzeugen, namentlich den Zungenwerken gehören soll, ohne jedoch dieselbe durch ein bestimmtes und zugleich genügendes Argument zu widerlegen, vielmehr stellt er eine andere Erklärungsart auf, die er den Erscheinungen angemessener findet. Hiernach vergleicht er das Organ der Stimme mit einer kleinen Pfeife, einem kleinen, hohlen, mit einer Ritze versehenen Instrumente, dessen sich die Jäger bedienen, um die Stimmen der Vögel nachzumachen. Dieses versah er an beiden Seiten mit einer Röhre und erhielt hiernach eine Vorrichtung, welche seitwärts

1 Ann. Chim. et Phys. XXX. 64. Edinb. Journ. of Science. N. VIII. p. 200. Vergl. Magendie Journ. de Physiol. T. V. p. 367.

Digitized by Google

angeblasen im Tone einige Aehnlichkeit mit der menschlichen Stimme darbot. Zur Erklärung des grofsen Umfanges der erzeugten Töne nimmt er seine Zuflucht zu den Wirkungen konischer Pfeifen, durch welche allerdings tiefere Töne erzeugt werden können, als die ihrer absoluten Länge proportional sind. In der gegebenen Darstellung liegt allerdings viel Wahres, jedoch scheint mir hierdurch das Problem nicht im ganzen Umfange und hauptsächlich nicht mit der erforderlichen klaren Evidenz gelöst zu seyn.

Mayer[1] sucht mit grofsem Selbstvertrauen die durch Liskovius aufgestellte Theorie im Ganzen und im Einzelnen zu widerlegen und stellt dieser dann eine ihm eigenthümliche neue, alle einzelne Modificationen der Tonerzeugung berücksichtigende, entgegen, in welcher die Meinungen von Dodart und Ferrein vereinigt werden sollen. Die Entstehung der Töne wird diesemnach von den Schwingungen der nach Art gespannter Saiten vibrirenden Stimmbänder abgeleitet, zugleich aber wird „das Stimmorgan der Menschen und Säugethiere „eine wegen der Weichheit ihrer Wandungen nur unmerk„lich selbstschwingende *Blasröhre*" genannt, „in deren Ca„nal dem Ende oder Ausgange näher zwei verschiedener „Spannung fähige Mundstücke (die Stimmritze und die Ritze „der Gaumbogen) angelagert sind, wovon das erstere als der „eigentliche Sitz der Stimmerzeugung anzusehn ist, das zweite „aber den erzeugten Ton nur modificirt." Inzwischen hat Liskovius[2] diese ganze Hypothese bereits genügend widerlegt, deren Unzulässigkeit schon daraus hervorgeht, dafs in akustischer Beziehung, worum es sich hier allein handelt, eine *Blasröhre* an sich sowohl als deren Mundstücke ohne nähere Bezeichnung durchaus unbekannte Dinge sind und also diese Ausdrücke ohne genauere Angabe ihres eigenthümlichen Baues und ohne Nachweisung des ätiologischen Zusammenhanges zwischen dem genannten Instrumente und seinen speciellen Wirkungen gar nichts sagen, mithin auch auf keine Weise als eine Lösung des vorliegenden Problems zu betrachten sind.

---

1 Abhandlung über die Function der Epiglottis. Bern 1814. Salzburgische med. chir. Zeitung 1814. N. 62. S. hauptsächlich J. F. Meckel Archiv für Anatomie und Physiologie. 1826. S. 188.

2 Meckel's Archiv 1827. S. 177.

Digitized by Google

Es ist sonach überflüssig, hier in die genannte Darstellung tiefer einzugehn, jedoch scheinen mir zwei Puncte auch in der gründlichen Widerlegung von Liskovius nicht genug gewürdigt zu seyn. Zuerst wird der Versuch, wonach die Töne der Stimme auch dann entstehn, wenn man die Stimmbänder berührt, nicht nach seiner Wichtigkeit und grofsen Beweiskraft hervorgehoben, zweitens aber gestehn beide dem Wesen nach gemeinschaftlich zu, dafs auf gleiche Weise beim Ausströmen und Einströmen der Luft durch den Larynx Töne erzeugt würden, im letztern Falle jedoch etwas höher. Allerdings entstehn Töne auch beim Einströmen der Luft, allein dafs irgend ein Sänger auf diese Weise einen eigentlich angenehmen und dem gewöhnlichen ähnlichen Gesang hervorzubringen vermocht habe, streitet gegen die Erfahrung, vielmehr lassen sich nur wenige Töne durch dieses Mittel erzeugen, sie unterscheiden sich aber so wesentlich von den eigentlichen schönen Tönen des Gesanges und erfordern eine so aufserordentliche Anstregung zu ihrer Hervorbringung, dafs dieser Umstand bei der Erklärung des ganzen Phänomens nicht übersehn werden darf.

Die Physiker und Physiologen pflichten der einen oder der andern beider, erwähnten Hypothesen bei, wonach die Töne der Stimme entweder durch die Vibrationen der Stimmbänder, nach Art der durch schwingende Saiten erzeugten, gebildet werden, oder dafs der Kehlkopf einem Blasinstrumente gleicht, und es scheint mir überflüssig, diese Autoritäten insgesammt namhaft anzuführen. Das neueste Werk über dieses Problem, von Bennati[1], entscheidet über das eigentliche Wesen der Sache gar nicht, behandelt dagegen ausführlich den Einfluss, welchen die einzelnen Theile des Stimmorgans auf die Eigenthümlichkeit der Stimme beim Sprechen sowohl als auch beim Singen haben, ein specieller Theil der gesammten Aufgabe, auf welchen ich tiefer einzugehn für unnöthig halte. Auch Bell[2] hat den Gegenstand in anatomischer, physiologischer und akustischer Hinsicht behandelt, dabei auch auf die Modificationen Rücksicht genommen, die zur Hervorbringung der eigenthümlichen Laute erforderlich sind.

---

1 Annales des Sciences naturelles. 1831. Mai.
2 Phil. Trans. 1832. p. 299.

Digitized by Google

Handelt es sich aber um eine definitive Entscheidung der eigentlichen Frage, so ist wohl ohne Bedenken mit Biot anzunehmen, dafs die Stimmbänder auf keine Weise als schwingende Saiten zu betrachten sind, und es bleibt daher blofs noch die zweite Hypothese als allein zulässig übrig, wonach das Organ des Kehlkopfes als ein Blasinstrument wirkt. Hierbei tritt aber die sehr schwierige Frage ein, zu welcher Classe von Instrumenten dasselbe zu rechnen sey. Zu den Labialpfeifen und Flötenwerken kann dasselbe nicht gehören, weil nach der gleichfalls richtigen Darstellung von Biot diese ihrer Natur nach weit längere Pfeifen und eine weit längere schwingende Luftsäule erfordern, als der menschliche Stimmapparat darbietet. Unter den künstlichen Apparaten, in denen eine schwingende Luftsäule den Ton erzeugt, bleibt also keine andere übrig, als die Rohrwerkzeuge und namentlich die vibrirenden Bleche, die ihren Schwingungen ähnliche Vibrationen in einer durch eine feine Oeffnung strömenden Luftmasse erzeugen, wonach man also das Stimmorgan zu dieser Classe rechnen und die Bänder der Stimmritze als eigentliches Mittel der Tonerzeugung betrachten könnte. Allein auch dieser Hypothese stehn bedeutende, noch keineswegs hinlänglich beseitigte Einwürfe entgegen. Zuerst zeigen sich die Stimmbänder keineswegs auf eine solche Weise elastisch, als die einschlagenden Zungen seyn müssen, wenn sie die hohen Töne der Sopranstimmen geben sollen. Zweitens zeigt die Verengerung der Stimmritze auf die Höhe des erzeugten Tones einen weit stärkern Einfluſs, als dieses bei den einschlagenden Zungen, der Mundharmonica, den Rohren der Blasinstrumente und andern Apparaten der Fall ist, wenn man auch die Umstände übersehn wollte, dafs keinem derselben ein so leichter Uebergang von einem Tone zum andern durch die kleinsten Intervalle und zugleich in einem so bedeutenden Umfange eigen ist, als der menschlichen Stimme, indem namentlich auf der Maultrommel, aller günstigen Bedingungen ungeachtet, keineswegs alle Töne der chromatischen Tonleiter hervorgebracht werden können. Ist aber endlich der Versuch von Liskovius richtig, dafs auch dann noch Töne erzeugt werden, wenn man beide Stimmbänder berührt, so müfste auch dieses als ein gewichtiges Argument gegen die Hypothese gelten, wonach man die Stimmbänder den vibrirenden Zungen

Digitized by Google

gleich stellt. Bei Hoboën, Clarinetten und Fagotten wird zwar der Ton durch die Berührung der Rohrflächen mit den Lippen gleichfalls nicht aufgehoben, allein diese Instrumente haben zugleich eine Röhre, in denen die eingeschlossene Luftsäule, die noch obendrein durch die Löcher verkürzt und verlängert werden kann, durch den feinen, gegen sie stofsenden Luftstrom, der durch die Rohröffnung dringt, in Schwingungen versetzt wird, und ihr Bau ist daher weit mehr zusammengesetzt, als der des Stimmorgans. Endlich aber sind die Lippen, welche die Flächen der schwingenden Blätter bei den genannten Instrumenten berühren, ungleich elastischer, als die Finger, die Liskovius auf die Stimmbänder legte, und keines jener Blätter vermag einen Ton zu geben, wenn es oben am Rande berührt wird, wogegen die Stimmbänder ohne Zweifel nahe am Rande berührt wurden.

Die Kunst vermag also kein Instrument darzustellen, dessen Wirkungen denen des menschlichen Stimmorgans vollkommen gleichen, alle bieten zur Erklärung nur Aehnlichkeiten dar. Die Natur selbst aber zeigt uns in den Lippen noch eine zweite Vorrichtung ähnlicher Art, vermittelst deren bei einer veränderlichen Oeffnung durch hindurchströmende Luft Töne von ungleicher, in den feinsten Intervallen wechselnder Höhe und von bedeutendem Umfange hervorgebracht werden, deren Klang bei einiger unverkennbaren Aehnlichkeit sich allerdings sehr verschieden zeigt, was aber aus dem Mangel desjenigen Apparates, der im Kehldeckel, der Mundhöhle, den Zähnen, Lippen u. s. w. mit der Stimmritze verbunden ist, sehr leicht erklärbar wird. Es fragt sich aber, auf welche eigenthümliche Weise vermittelst dieses Apparats die Töne erzeugt werden, die sich leichter beantworten läfst, weil wir denselben genauer zu beobachten vermögen. Die Töne des *Pfeifens mit dem Munde* werden erzeugt, indem man eine Oeffnung zwischen den Lippen bildet, die bei höheren Tönen enger, bei tieferen weiter ist; der Ton entsteht dabei sowohl durch Ausstofsen als auch durch Einziehn der Luft und ist, wie bei der Stimme, im letztern Falle meistens etwas höher. Ob die Lippenränder hierbei vibriren und durch ihre Schwingungen die durchströmende Luft zum Tönen bringen, ist schwer zu entscheiden. Als Resultat von Versuchen geht hervor, dafs der Ton zwar nicht ganz ausbleibt, aber schwerer

Digitized by Google

erzeugt wird, wenn die Lippen trocken sind, weswegen man sie vorher mit der Zunge zu befeuchten pflegt. Dieser Umstand, und noch mehr ein anderer, nämlich dafs der Ton sicher ausbleibt, wenn man ein auch noch so kurzes und dünnes Röhrchen von beliebiger Weite zwischen die Lippenöffnung schiebt, entscheidet für das Vibriren der Lippenränder, dagegen aber streitet die Erfahrung, dafs man beide Flächen der Lippen ohne Aufhebung des Tones gleichzeitig mit einem dünnen Drahte berühren kann, jedoch hört der Ton auf, wenn man statt dessen ein über eine Linie breites Blech über beide Lippenflächen hält, auch dann, wenn diese Bleche am äufsersten Rande der Lippen das eine hinauf, das andere herab gebogen sind, um den freien Luftstrom nicht zu hindern. Dieser Versuch führt zu einem interessanten Resultate. Wird die Fläche der einen Lippe mit einem solchen Bleche berührt, so gewahrt man deutlich durch das Gehör, dafs der berührte Theil der Lippe zur Tonerzeugung nichts weiter beiträgt, und auf gleiche Weise kann man zunehmend gröfsere Theile einer oder beider Lippen bedecken, um die Ueberzeugung zu erlangen, dafs die bedeckten Theile zur Erzeugung der Töne, die fühlbar durch die unbedeckten entstehn, nichts beitragen. Klebt man über die eine Lippe ein Stück Amnium-Häutchen, welches sich so genau über die Oberfläche der benetzten Lippe ausbreitet, dafs man kaum eine Veränderung der letztern wahrzunehmen vermag, so wird dadurch das Pfeifen erschwert, aber nicht aufgehoben, überklebt man aber auf diese Weise beide Lippen, so bleibt der Ton ganz aus, indem das übrigbleibende Geräusch nicht als eigentlicher Ton betrachtet werden kann. Dieses Resultat würde entscheidend seyn, stände ihm nicht der Einwurf entgegen, dafs das Pfeifen mit dem Munde auf gewisse Weise erlernt werden mufs und daher das Ausbleiben des Tones als Folge der Ungewohnheit betrachtet werden könnte; inzwischen lege ich hierauf nicht so grofses Gewicht, denn wenn man den Versuch selbst anstellt, so zeigt ein deutliches Gefühl, dafs die Bildung des Tons durch den feinen Ueberzug der Lippen gehindert wird, selbst auch nach der Befeuchtung durch die Zunge.

Diesemnach glaube ich also, dafs die Töne des Pfeifens mit dem Munde und die der Stimme einer und derselben Classe zugehören und beide durch die Schwingungen der Luft

Digitized by Google

entstehn, die durch eine enge, mit feinen, zarten und feucht erhaltenen Häuten ausgekleidete Oeffnung strömt. Die Ränder oder Oberflächen der Oeffnung gerathen hierbei allerdings in Schwingungen, die ich denen vergleichen möchte, in welche eine mit dem Violinbogen sanft gestrichene Saite an der durch die Haare des Bogens berührten Stelle versetzt wird. Aus diesem Grunde ist die Bedingung erklärlich, dafs die Häute nicht blofs fein, sondern auch feucht seyn müssen, wenn überhaupt ein Ton und insbesondere ein wohlklingender entstehn soll. Ich habe ferner bemerkt, dafs diejenigen Lippen zum Pfeifen am meisten geeignet sind, die beim Spitzen des Mundes zu diesem Zwecke gegen einander gerichtete, konisch zugespitzte Hervorragungen bilden, die einige Aehnlichkeit mit der Stimmritze haben. Den Ton des Flötens begünstigt dann ferner die Dicke der Lippen, zwischen denen von der Oeffnung aus sich eine Höhlung bildet, welche als das untere offene Ende einer konischen Pfeife anzusehn ist, die zur Erzeugung der Töne mit beiträgt. Die Tonhöhe beim Pfeifen wird hauptsächlich durch die verschiedene Gestaltung der Mundhöhle vermittelst der Zunge bedingt, wobei eine Verengerung und gleichzeitige Verlängerung auf gleiche Weise wie beim Singen der gröfsern Höhe zugehört. Darf also die menschliche Stimme im Allgemeinen mit der Tonerzeugung beim Flöten mit dem Munde verglichen werden, so ist es leicht, die Eigenthümlichkeiten beim Reden und Singen aus der Mitwirkung der verschiedenen Höhlungen und Häute des Stimmorgans abzuleiten.

Der Umfang der menschlichen Stimme, welcher von der Nachgiebigkeit des Kehlkopfes und der übrigen Theile abhängt, geht in reinen und klaren Tönen selten über zwei Octaven hinaus. Man rechnet die *Bafsstimmen* von E bis a, *Baryton* von A bis $\overline{f}$, *Tenor* von c bis $\overline{a}$, *Alt* von f bis $\overline{\overline{f}}$, *Mezzo Soprano* von $\overline{e}$ bis $\overline{\overline{a}}$, *Soprano* von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{\overline{c}}}$. Dieses sind die Forderungen der Orchester; seit Mozart verlangt man aber für Sopran von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{\overline{f}}}$, die meisten vorzüglichen Stimmen aber zeichnen sich durch einen gröfsern Umfang aus. Derselbe ist jedoch schon dann selten, wenn er zwei volle Octaven vollständig umfafst, indefs giebt es Sängerinnen, deren

Stimme sogar drei Octaven begreift; am ausgezeichnetsten und physiologisch merkwürdig war die jüngste Schwester unter den bekannten Sessi's, deren nicht liebliche, mehr scharfe, aber reine und klare Stimme 3 Octaven und 3 Töne umfafste und von c bis $\overline{\overline{f}}$ reichte. Als Gegensatz darf wohl der ältere Berliner Fischer, der Vater der später berühmt gewordenen Sänger, erwähnt werden, dessen überraschend wohlklingende Bafsstimme bis $\underline{F}$ ging. Die Stimmbänder der Knaben sind klein und fein, wie die der Damen, und bleiben so, wenn ihre Entwickelung durch Entmannung gehindert wird, wachsen aber in späteren Jahren bis zur doppelten Gröfse und Stärke, so dafs sie zur Erzeugung der Bafstöne fähig werden[1]. In diese Uebergangsperiode fällt das sogenannte Brechen der Stimme, welches bei einigen Personen insofern fortdauert, als ihre Stimme regellos von bedeutender Höhe zur Tiefe und umgekehrt überspringt[2]. Die Stimmritze gestattet im gewöhnlichen Zustande der Luft den freien Durchgang, krampfhafte Verengerung erzeugt den Ton des Hustens und im krankhaften Zustande den eigenthümlichen Ton beim Croup und Keuchhusten, das Schluchzen u. s. w., auch kann man durch einen unangenehmen und leicht gefährlichen äufsern Druck des untern Theiles des Kehlkopfes das Grunzen eines Schweines nachahmen.

Es läfst sich hieran leicht eine kurze Andeutung der Art knüpfen, auf welche die Stimmen der Thiere entstehn. Sie finden sich blofs bei den Mammiferen, den Vögeln und einigen Reptilien und werden auf gleiche Weise, wie bei den Menschen, durch Stimmbänder erzeugt, die gleichfalls den Zungenwerken oder genauer dem Organe der menschlichen Stimme vergleichbar sind. Bei den Mammiferen insgesammt liegt der tönende Apparat am Ausgange der Luftröhre (*trachea*), ist aber bei weitem nicht so fein und so gut ausgebildet, als bei den Menschen, weswegen ihre Stimme, aufserdem durch keine Mittel der Kunst unterstützt, einen gleichen Grad der

1 S. Dupuytren in Voigt's Mag. Th. VIII. N. 1. S. 57.

2 Sömmerring vom Baue des menschl. Körpers. V. Abth. 2. Dessen Abbildung d. menschl. Geschmacks- und Sprach-Organe. Frankf. 1805.

Digitized by Google

Vollkommenheit zu erlangen nicht geeignet ist[1]. Bei den Vögeln, namentlich den Singvögeln, hat der Bau der Luftröhre einen entschiedenen Einfluſs auf die Art der Töne. Am merkwürdigsten im Allgemeinen ist, daſs sich das Stimmorgan am untern Theile der Luftröhre befindet, weswegen ein Einschnitt in die letztere die Erzeugung der Töne nicht hindert. Aufserdem ist die Luftröhre bei ihnen weit mehr zusammenziehbar, als bei den Mammiferen, und kann sich aufserdem am obern Theile mehr zusammenziehn und erweitern, durch welche beide Eigenthümlichkeiten vielfache Modificationen der Töne möglich werden, obgleich ihre eigentliche Erzeugung durch die Stimmritze geschieht. Manche Vögel haben aufserdem einen nach oben sich trompetenförmig erweiternden Larynx, wodurch ihre Stimme klingender wird, bei andern ist derselbe an einigen Stellen bauchig erweitert, was gleichfalls bestimmte Modificationen der Töne herbeiführt, auch finden noch sonstige Eigenthümlichkeiten statt, deren vollständige Erörterung hier zu weit führen würde[2].

Auf den Mechanismus der menschlichen *Sprache* rücksichtlich der Erzeugung der einzelnen Buchstaben mich einzulassen scheint mir hier nicht geeignet, obgleich dieser Gegenstand im Ganzen gleichfalls zur Akustik gehört[3]. Die erforderlichen Töne werden dabei auf ähnliche Weise, wie beim Gesange, durch die Stimmritze erzeugt, die Eigenthümlichkeit der zur Wortbildung gehörigen vorherrschenden Selbstlauter und Mitlauter aber durch die verschiedenen Theile der Sprachorgane, der Zähne, des Gaumens, der Lippen und Zunge, nicht ohne Mitwirkung des Nasencanals, bedingt. Der Proceſs ist im Ganzen ein sehr zusammengesetzter und durch künstliche Mechanismen keineswegs im gleichen Grade nachbildbar, als dieses bei der Gesangstimme der Fall ist, und v. Kempelen's[4] *Sprachmaschine* giebt bei einiger Nachhülfe mit der Hand kaum den menschlichen entfernt ähnliche Laute. Neuerdings hat vorzüglich Robert Willis[5] sich bemüht, im

1 Cuvier Leçons d'Anatomie comparée. T. IV.

2 Cuvier in Journ. de Phys. T. L. p. 426. Savart in Ann. Ch. Phys. T. XXXII. p. 5. 113.

3 Vergl. Chladni in G. LXXVI. 187.

4 Vergl. *Automat.* Bd. I. S. 655.

5 Trans. of the Camb. Phil. Soc. T. III. p. 231. Daraus in Poggendorff's Ann. XXIV. 397.

Digitized by Google

Wesentlichen auf die durch Kratzenstein angegebene Weise die Töne der menschlichen Stimme und selbst die Unterschiede der Selbst- und Mitlauter vermittelst der Zungenpfeifen nachzubilden.

II. Fortpflanzung des Schalles.

65) In der Regel steht der schallende Körper nicht unmittelbar mit dem wahrnehmenden Ohre in Verbindung, sondern durchläuft ein zwischenliegendes Mittel, bis er zu den Gehörnerven gelangt. Den Durchgang des Schalles durch diese Medien, mag nun ein einziges homogenes oder mögen deren verschiedene neben einander liegende und abwechselnde vorhanden seyn, nennt man dessen Fortpflanzung und untersucht die Gesetze, wonach diese vor sich geht. Der Schall besteht aber aus Wellen, aus pendelartigen Schwingungen elastischer Körper, ist also keine selbstständige Potenz (kein *ens sui generis*), sondern nur die Wirkung gewisser eigenthümlicher Bewegungen wägbarer Körper, erfordert also auch deren Vorhandenseyn, wenn eine Fortpflanzung statt finden soll, und kann daher der Natur der Sache nach durch den leeren Raum nicht fortgeleitet werden. Die Nothwendigkeit dieser Folgerung leuchtet deutlich ein und die Sache bedarf also eigentlich keines weiteren Beweises; dennoch aber ist es üblich, diese Wahrheit durch einen eigenen Versuch darzuthun. Zu diesem Ende setzt man einen Wecker, den man unmöglich in ein absolutes Vacuum ohne Berührung irgend eines Körpers bringen kann, auf eine durch Baumwolle oder Wolle weiche Unterlage auf den Teller einer Luftpumpe, stürzt eine Campane darüber und exantlirt, worauf sich dann zeigt, dafs der Schall auswärts gar nicht oder nur äufserst schwach gehört wird, beim Zutritte der Luft aber verstärkt wieder zum Vorschein kommt. Die Wecker sind meistens so eingerichtet, dafs ein luftdicht in der Fassung der Campane beweglicher, zuweilen auch mit einem Hebelarme versehener Draht das Uhrwerk, wodurch der Hammer getrieben wird, um gegen eine Glocke zu schlagen, fortgehn läfst oder aufhält. Apparate dieser Art können auf sehr verschiedene Weise eingerichtet werden, ihr Mechanismus ist aber so einfach und leicht, dafs es mir überflüssig scheint, eine nähere Beschreibung irgend einer Vorrichtung dieser Art mitzutheilen.

Digitized by Google

Weil der Schall bei weitem in den meisten Fällen durch die Luft fortgepflanzt wird, so herrschte ehemals im Allgemeinen die Ansicht, dafs die Luft der einzige zur Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles geeignete Körper sey[1], und man suchte dann die Frage zu beantworten, ob auch sonstige tropfbar flüssige und feste Körper denselben zu leiten vermöchten. Neuere Untersuchungen haben nicht blofs die Möglichkeit hiervon dargethan, sondern auch zur genauern Kenntnifs der Gesetze geleitet, nach denen diese Fortpflanzung bei den verschiedensten Körpern erfolgt.

A. Fortpflanzung durch atmosphärische Luft.

a) Versuche über Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

66) Man hat schon frühe die Frage zu beantworten gesucht, mit welcher Geschwindigkeit der Schall eine gegebene Entfernung durchläuft, denn dafs hierzu eine gewisse Zeit erfordert werde, davon überzeugte man sich bald durch solche Erscheinungen, bei denen die erzeugende Ursache des Schalles in beträchtlicher Weite gesehn und dann erst später der Schall gehört wurde; die aus den Versuchen und Beobachtungen erhaltenen Resultate waren aber unsicher und sehr abweichend, weil es dabei gänzlich an Genauigkeit fehlte. Man beobachtete allezeit einen stark schallenden Körper aus bedeutender, ziemlich genau gemessener Entfernung, betrachtete die Zeit des Durchlaufens des Lichts durch diesen Raum als verschwindend klein und mafs diejenige, welche bis zur Ankunft des Schalles am Ohre verstrich, wobei die letztere Gröfse, nämlich die Zeit, allzu unvollkommen gemessen wurde. Zugleich beachtete man zwar die Einwirkung des Windes, zog aber den Einflufs der Temperatur nicht so mit in Rechnung, dafs ein genügendes Resultat daraus hervorgehn konnte. Diesemnach können wir die sämmtlichen Versuche abtheilen in ältere, bei denen diese nothwendige Bedingung nicht be-

1 Vergl. Chladni in Hindenburg's Archiv d. rein. u. ang. Mathematik. 1794. Hft. 1. S. 127.

Digitized by Google

rücksichtigt wurde, und in neuere, wobei dieses geschah, wonach dann jene blofs noch geschichtliches Interesse haben, ohne zur Lösung des eigentlichen Problems etwas beizutragen, diese dagegen die Aufgabe der endlichen Entscheidung mehr oder weniger nahe bringen. Zu den älteren Versuchen gehören folgende. Gassendi[1] fand nicht selbst 1473 Fufs für 1 Secunde, sondern erwähnt eine der Bestimmungen durch Mersenne[2], welcher die genannte Gröfse und auch 1380 Fufs fand. Genauer war 1660 die Bestimmung der Florentiner Akademie[3] vermittelst abgebrannter Geschütze zu 1185 Fufs. Robert Boyle[4] fand 1200 Fufs. Walker[5] schwankt zwischen 1150 und 1526 F., eine so bedeutende Fehlergrenze, dafs hieraus allein die Unzulässigkeit des Resultates genügend hervorgeht. Die Bestimmung von Roberts[6] zu 1300 Fufs liegt zwischen beiden Angaben ungefähr in der Mitte; ihr nahe kommt die von Bianconi[7], welcher zugleich die Beobachtung machte, dafs die Wärme eine Vermehrung der Geschwindigkeit bewirke, indem der Schall im Winter 4 Sec. mehr gebrauchte, als im Sommer, um den gemessenen Raum von 16 ital. Meilen zu durchlaufen. Ungewöhnlich klein war die Geschwindigkeit, welche Flamstead, Halley und Derham[8] auffanden, und mit Newtons theoretischer Bestimmung mehr übereinstimmend, nämlich 1020 F. Mangel an Genauigkeit läfst sich den berühmten Versuchen der Mitglieder der Pariser Akademie nicht geradezu vorwerfen, allein die erhaltenen Resultate waren dennoch zu ungenügend, weil der Temperatur-Unterschied nicht in Rechnung gebracht und daher keine Uebereinstimmung unter den so sehr abweichenden Gröfsen gefunden wurde. Cassini, Huyghens, Picard und Olaus Roemer fanden zuerst[9] 1097 Fufs, später nach ge-

1 Musschenbroek Introd. T. II. p. 920. §. 2231.

2 Harmon. univ. Par. 1635. fol. Prop. V. art. 4. Tractat. de arte ball. p. 138.

3 Musschenbroek Tent. Exper. II. p. 112.

4 Essay on languid motion. p. 24.

5 Phil. Trans. N. 256. T. XX. p. 434. Vergl. N. 247.

6 Phil. Trans. 1694. N. 209.

7 Comm. Bonon. II. 365. In Hamb. Magaz. XVI. p. 476.

8 Phil. Trans. N. 313. T. XXVI. p. 16. Ann. 1708 u. 1709.

9 Du Hamel Hist. de l'Acad. L. II. Sect. 3. C. 2.

Digitized by Google

naueren Messungen[1] 1038 und dann 1041 F.; zu Quito fanden die französischen Akademiker, namentlich Condamine[2], 1044 und 1050, auf Cayenne aber[3] 1198. An diese Versuche schliefsen sich einige in Deutschland ausgeführte, die den in Frankreich angestellten rücksichtlich der Genauigkeit durchaus nicht nachstehn und für die damalige Zeit mit Rücksicht auf die gebrauchten Apparate das Problem zur definitiven Entscheidung gebracht hätten, wenn die Temperatur als Rechnungsfactor benutzt und dadurch die genaue Uebereinstimmung der einzelnen Resultate unter einander nachgewiesen worden wäre. Ein grofser Vorzug gebührt ihnen wegen der scharfen Zeitbestimmung, die vermittelst der gebrauchten Tertienuhren erhalten wurde, wobei es merkwürdig ist, dafs man diese für solche Beobachtungen unentbehrlichen Apparate in Deutschland und Holland, nicht aber in Frankreich angewandt hat. Kaestner und J. T. Mayer[4] wählten 1778 die Göttingische Sternwarte zum Beobachtungsorte, mafsen die Zeit mit einer Tertienuhr von Klindworth und erhielten für die Geschwindigkeit 1034 bis 1037 Fufs in einer Secunde, Müller[5] aber mafs später auf dem Felde bei Göttingen mehrere Standlinien mit der Kette und 16 F. langen Stäben, verglich diese gröfserer Genauigkeit wegen, gebrauchte zur Zeitbestimmung eine Tertienuhr von Ahrens und erhielt als Resultat 1040,3 Fufs. Diese werthvollen Versuche mögen also die Reihe der älteren beschliefsen. Der Zeit nach mit ihnen zusammenfallend sind diejenigen, welche die beiden Begleiter Malaspina's auf seiner Entdeckungsreise Don José de Espinosa und Don Felipe Bauza im Jahre 1794 zu St. Jago de Chili anstellten[6], wobei jedoch die Messungen so ungenau waren, dafs die Resultate weder unter sich noch auch mit andern zuverlässigen hinläng-

1 Mém. de l'Acad. 1738. p. 128. 1739. p. 126.

2 Introduct. histor. Par. 1751. p. 98.

3 Mém. de l'Acad. 1745. p. 488. Condamine Voy. de la Riv. des Amaz. p. 206. Vergl. Winkler Tentamina circa soni celeritatem per aërem atmosph. Lips. 1763. 4.

4 Dessen praktische Geometrie. Gött. 1792. I. 166.

5 Gött. gelehrte Anz. 1791. St. 159. Lichtenberg Mag. Th. VIII. St. 1. S. 170.

6 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 93. Vergl. Crelle Journal u. s. w. Th. II. S. 307.

Digitized by Google

lich übereinstimmen. Sie fanden nämlich bei 23°,2 C. die Geschwindigkeit des Schalles = 190,6 Toisen oder 1143,6 par. Fufs und auf 0° Temperatur reducirt 1098,92 Fufs.

Unter den neuern Versuchen, wodurch die Frage zur endlichen Entscheidung gebracht worden ist, stehn die von Benzenberg angestellten billig oben an, da sie eine geraume Zeit die einzigen waren, aus denen man die gesuchte Bestimmung entnahm. Als Beobachtungsort diente der Kirchthurm zu Ratingen, die Explosionen des Geschützes geschahen zu Düsseldorf, die Entfernung beider Puncte war trigonometrisch gemessen und zur Zeitbestimmung diente eine Tertienuhr von Pfaffius in Wesel. Jederzeit wurde das Mittel aus einer grofsen Menge einzelner Messungen genommen, die die zur Feier verschiedener Feste angeordneten Kanonenschüsse am 5. Nov., 2. und 3. Dec. 1809 und am 8. Juni 1811 gaben[1]. Unter diesen können jedoch blofs die vom 3. Dec. 1809 und vom 8. Juni 1811 auf den erforderlichen Grad von Genauigkeit Anspruch machen, indefs ergab sich bald der bis dahin entweder gar nicht oder nicht genügend beachtete und auf jeden Fall nicht als Rechnungsfactor benutzte Einfluſs der Temperatur, dieser ergiebt sich jedoch nicht blofs aus der Erfahrung, sondern folgt auch nothwendig aus theoretischen Gründen. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist nämlich eine Function der Elasticität der Körper, und da die specifischen Elasticitäten der Luft bei 0° sich zu der bei t° wie die Einheit zu $1 + 0{,}00375\,t$ verhält, so mufs für eine bei irgend einer Temperatur = t in Graden der hunderttheiligen Scale beobachtete Geschwindigkeit = c die auf 0° reducirte Geschwindigkeit $c' = \frac{c}{\sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)}}$ seyn, wie bereits oben §. 46. erwähnt worden ist. Werden die einzelnen Versuchsreihen hiernach auf 0° Temperatur reducirt, so geben die vom 3. Dec. 1809. 1028,3 Fufs, die vom 8. Juni 1811 die erste Reihe 1026,8 F. und die zweite 1027,1 par. Fufs, also giebt das Mittel aus diesen drei Reihen die Geschwindigkeit des Schalles in einer Sexagesimalsecunde und bei 0° Temperatur = 1027,4 par. Fufs oder 333,7 Meter. Als dieser bedeutende Einfluſs der Temperatur einmal erkannt war, wandte man diese Cor-

1 G.XXXV. 383. XLII. 1 ff.

Digitized by Google

rection auch auf die mit gröfster Genauigkeit ausgeführten und umständlich beschriebenen Versuche der französischen Akademiker an, für deren Zuverlässigkeit ohnehin schon ihre grofse Uebereinstimmung unter einander entscheiden mufste. Die aus 8 Versuchsreihen an verschiedenen Tagen und an wechselnden Standpuncten erhaltene mittlere Gröfse ist 1036,35 par. F. und die mittlere Temperatur läfst sich mit grofser Sicherheit zu 6° C. annehmen, wonach dann die Formel

$$c' = \frac{1036{,}35}{\sqrt{1{,}0225}} = 1024{,}9 \text{ par. F.}$$

giebt[1].

Die erwähnten Versuche schienen den französischen Gelehrten das Problem noch nicht vollständig genug zu lösen und sie veranstalteten daher selbst solche, die ein vollständig genaues Resultat liefern sollten. Diese wurden am 21. und 22. Juni 1822 auf Veranlassung der Akademie an der nämlichen Stelle gemacht, die bereits 1738 zu diesem Zwecke gewählt worden war. Zur Erzeugung des Schalles wurden 6pfündige Kanonen angewandt, zur Messung der Zeit aber dienten geprüfte Taschen-Chronometer der Sternwarte, gegen deren genauen Gang zwar nichts einzuwenden ist, allein dafs sie die kleinen Zeitintervalle nicht mit gleicher Schärfe geben, als die Tertienuhren mit konischen Pendeln, unterliegt keinem Zweifel, und man mufs sich wundern, dafs die französischen Gelehrten solche nicht benutzten, die in Paris kaum bekannt sind, ungeachtet Pfaffius die von ihm verfertigten dem Institute früher vorgezeigt hat[2]. Um zugleich den Einflufs des Windes auszumitteln, wurde auf beiden Stationen theils beobachtet, theils der Schall erzeugt. Auf der einen zu Montlhery befanden sich A. von Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard, auf der andern zu Ville-Juif Prony, Mathieu und Arago; das Wetter war heiter, es herrschte fast Windstille und der schwache Wind wehte von Ville-Juif nach Montlhery oder NNW. Dennoch hörte man alle Schüsse von Montlhery genau in Ville-Juif, auf der ersteren Station aber hörte man am 21. nur 7 Schüsse, am 22. nur einen. Am ersten

1 Vergl. R. van Rees dissert. de celeritate soni. Traj. ad Rhen. 1819. 4. p. 36.

2 S. Benzenberg a. a. O.

Digitized by Google

Tage war mittlerer Barometerstand 756,4 Millim. (27″ 11‴,309), Thermometer 15°,9 C., Hygrometer 72°; am 22sten war Barometerstand 755,58 MM. (27″ 10‴,946), Thermometer 17°,6, Hygrometer 95°. Die mittlere Zeitdauer zwischen dem gesehenen Blitze und dem gehörten Schalle betrug am ersten Tage zu Montlhery 54″,43, zu Ville-Juif 54″,81, und der Schall durchlief also die gemessene Strecke im Mittel in 54″,6; am zweiten Tage, wo blofs zu Ville-Juif gemessen werden konnte, betrug die Zeitdauer 53″,75. Die genau gemessene Entfernung beider Stationen war 9549,6 Toisen, und somit durchlief der Schall 174,9 Toisen oder 1049,4 Fufs in einer Secunde. Die Correction für 1° C. beträgt 0,321 Toisen, und diesemnach ist die Geschwindigkeit des Schalles bei 10° C. 173,01 Toisen oder 1038,06 Fufs, auf 0° reducirt giebt dieses aber eine Geschwindigkeit von 169,8 Toisen oder 1018,8 Fufs [1].

67) Theils Wifsbegierde, theils das Streben, Versuche dieser Art auch einmal in den Niederlanden anzustellen, vermochten die Professoren G. Moll und A. van Beek solche zu veranstalten, ein Unternehmen, welches durch den Prinzen Friedrich begünstigt und durch den Lieutenant-Colonel Kuytenbrewer durch Ueberlassung der nöthigen Artilleriestücke unterstützt wurde. Der Beobachtungsort war auf einer weiten Ebene in der Gegend von Utrecht, wo zwei niedrige Hügel, der Kooltjesberg und Zevenboompjes, ausgesucht wurden. Auf jener Station waren Moll mit den Lieutenants Renault und Dilg, auf dieser van Beek mit den Lieutenants Sommerton, van den Bylaardt und Seelig, nebst einigen Cadetten und Studirenden, die zugleich mit halfen. Zur Regulirung der Zeit dienten zwei Chronometer der Marine, einer von Arnold, der andere von Knebel, zur Zeitmessung aber zwei Tertienuhren mit konischem Pendel von Pfaffius; auf jeder Station war ferner ein regulirtes Barometer, mehrere gute Thermometer von Dollond und Newman und ein Daniell'sches Hygrometer und zur Bestimmung der Windrichtung dienten Fahnen. Die sämmtlichen Instrumente befanden sich unter Zelten, zum Schiefsen aber hatte jede Station einen 12- und einen 6pfünder.

1 Arago in Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 210.

Digitized by Google

Zu gröfserer Genauigkeit gaben sich beide Stationen ein Signal durch eine Rackete, dafs alles vorbereitet sey, dann feuerte genau 8^h Abends die Station Zevenboompjes eine Kanone ab und 5 Minuten nachher die zweite, wodurch zugleich der Gang der Chronometer angedeutet wurde, indem der Blitz des Pulvers auf der andern Station genau nach dem Chronometer der dortigen Station notirt und dann um 8^h. 10′ der Zeit des Chronometers auf der ersten Station auf beiden ein Schufs abgefeuert wurde. Die Gleichzeitigkeit der Schüsse wurde bis auf einen Unterschied von 1 oder 2 Secunden erhalten, allein am 23., 24. und 25. Juni 1823 hörte man zu Kooltjesberg keinen von den Schüssen der andern Station, ungeachtet 6 ℔ Pulver genommen wurden; am 26. hörte man dort alle Schüsse, aber keinen zu Zevenboompjes; als aber der Wind sich änderte, hörte man mehrere Schüsse auf beiden Stationen. Hierdurch zeigte sich indefs ein für solche Versuche sehr wichtiger Umstand, nämlich dafs blofs gleichzeitige Schüsse auf beiden Stationen das Problem über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung genügend zu entscheiden vermögen, denn die reducirten Beobachtungen an den ersten Tagen gaben Unterschiede von $\frac{1}{3}$, statt dafs die an den letzten nur bis $\frac{1}{30}$ stiegen. Die Hauptpuncte zur Bestimmung des Abstandes beider Stationen wurden aus Krayenhoff's geodätischen Messungen genommen, die genaue Entfernung derselben aber durch trigonometrische Operationen erhalten. Ueber alles dieses, die gesammten Resultate der Beobachtungen und die zur Correction derselben genommenen Gröfsen giebt der abgestattete Bericht die genaueste, ins Einzelne gehende Auskunft[1], so dafs nach der schärfsten Prüfung diese Versuche unter allen übrigen bei weitem den ersten Rang einnehmen und zur definitiven Entscheidung der Aufgabe dienen können. Es ist dann nach diesen die auf 0° Temperatur und trockene Luft reducirte Geschwindigkeit des Schalles 332,049 Meter oder 1022,194 par. Fufs oder 1089,7445 englische F.

Das Verhältnifs, in welchem der Schall durch den Einfluss der Temperatur beschleunigt wird, ist oben §. 66. bereits angegeben, es kommt indefs noch der Factor wegen des

1 Phil. Trans. 1824. p. 424. Daraus in G. LXXXI. 351. 469.

Digitized by Google

Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre hinzu, weil die Luft durch den beigemischten Wasserdampf dünner wird. Heifst dann der corrigirte Barometerstand B, die Temperatur in Graden der hunderttheiligen Scale t, die Spannung des Wasserdampfes nach der Angabe des Hygrometers F, die beobachtete Geschwindigkeit des Schalles V, die corrigirte V', so ist

$$V' = \frac{V}{\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \sqrt{(1-0{,}37651\,\frac{F}{B})}}.$$

Bei den angegebenen holländischen Versuchen war am 27. Juni V = 340,06 Meter; t = 11°,16; F = 0,00925307 Meter; B = 0,74475 Meter; am 28sten V = 339,34 Meter; t = 11°,215; F = 0,00840465 Meter. Jene ersten Werthe in die Formel substituirt geben V' = 332,38 Meter, die letzteren V' = 331,72 Meter, der Unterschied beträgt 0,66 Meter oder $\frac{1}{503}$ des Ganzen[1].

Viele Versuche über die Fortpflanzung des Schalles stellte Goldingham[2] zu Madras an, indem er das Abfeuern der Kanonen des Forts beobachtete. Seine Versuche gehören zwar nicht zu den genauesten, geben aber dennoch einige interessante Resultate. Die Zeit wurde mit zwei Chronometern gemessen, welche 100 Schläge in 40 Secunden gaben, die Kanonen aber waren 24pfünder mit 8 ℔ Pulver geladen. Da die Beobachtungen eine lange Zeit hindurch fortgesetzt wurden, so änderte sich der Wind oft, und hiernach liefs sich sein Einfluſs messen. Wiederholte genaue Messungen gaben die Entfernungen 29547 und 13932,3 engl. Fufs, wonach die Uebereinstimmung der für beide ungleiche Gröſsen gefundenen Werthe beweist, dafs die Bewegung des Schalles eine gleichförmige ist. Aus der grofsen Reihe von Beobachtungen erhält man aber kein so genaues Resultat, als andere bereits erwähnte geben, worüber jedoch erst dann zu entscheiden wäre, wenn man sie auf gleiche Weise, als bei jenen geschehn ist, corrigiren wollte, was mir bei dem ungewissen Erfolge deswegen nicht nöthig scheint, weil die Frage selbst

1 Bydragen to de natuurkund. Wetenskapen. Amst. 1826. N. III. p. 191.

2 Phil. Trans. 1823. P. I. p. 96. Galbraith in Philos. Magaz. or Annals T. LXVI. 109.

Digitized by Google

schon hinlänglich entschieden ist. Im Mittel aus allen Beobachtungen erhält man 1142,34 engl. Fuſs für 1 Secunde, welche Gröſse jedoch nach dem Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstande erst corrigirt werden muſs. Wird diese Correction für die eine Reihe von Beobachtungen, die im Mittel 1142,18 engl. Fuſs giebt, nach der Art vorgenommen, wie dieses durch Goldingham selbst geschehn ist, wonach 1,2 Fuſs für 1° F., 1,4 Fuſs für 1° des Hygrometers und 9,2 F. für 0,1 Zoll des Barometers gerechnet werden, so erhält man, den Barometerstand von $0^m,766 = 30,158$ engl. Zoll als normal angenommen, für 29,992 engl. Zoll Barometerstand, 84°,11 F. Temperatur und 19° des Hygrometers die corrigirte Geschwindigkeit = 1079,65 engl. Fuſs oder 1013 par. F. als corrigirte Geschwindigkeit des Schalles in 1 Secunde. Wird der gefundene Werth nach der oben mitgetheilten Formel corrigirt, so ist $V = 348,138$ Meter, $B = 0,7622$ Meter, $t = 28°,95$ C., $F = 0,00408$, und man erhält $V' = 331,00$ Meter oder 1019 Fuſs.

Neuerdings sind auch in den österreichischen Staaten solche Schallversuche durch Myrbach und Stampfer zwischen Unsterberg und Mönchsstein unweit Salzburg angestellt worden[1]. Die Entfernung der Stationen betrug 30601 Fuſs, und als Resultat ergab sich eine Geschwindigkeit des Schalles von 1025,9 Fuſs in einer Secunde. Sie haben den Vorzug vor andern, daſs der Höhenunterschied beider Beobachtungsorte 4198 par. Fuſs bei einer gegen den Horizont geneigten absoluten Entfernung von 30601 par. Fuſs betrug, und zeigen also, daſs diese schiefe Richtung keinen Einfluſs auf die Schallgeschwindigkeit hat. Die Versuche von Gregory[2] zu Woolwich sollten dazu dienen, den Einfluſs des Windes auszumitteln. Die Zeit wurde durch ein von Hardy erfundenes Instrument gemessen, welches Zehntel von Secunden angab, allein die Standlinie betrug nur 6550 engl. Fuſs.

Alle bisher namhaft gemachte Versuche wurden bei mitt-

---

1 Jahrbücher des Wiener polytechn. Instituts. Th. VII. S. 23. Vergl. Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VIII. p. 424.

2 Philos. Magaz. T. LXIII. Biblioth. Brit. XXVII. p. 264. Monthly Magaz. 1824. Aug. p. 59. Transact. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. P. I. p. 119.

Digitized by Google

lerer und selbst hoher Temperatur angestellt, keine derselben selbst nur bei einer Wärme unter dem Gefrierpuncte des Wassers. Um so schätzbarer müssen daher diejenigen erscheinen, wodurch die englischen Reisenden in den kalten Polargegenden die Wissenschaft bereichert haben. Die Anzahl derselben ist nicht gering, auch begünstigte die Stille jener öden Gegenden die Operationen, wenn gleich auf der andern Seite die Handhabung feiner Instrumente bei so hohen Kältegraden fast die menschlichen Kräfte übersteigt. Eine lange Reihe von Beobachtungen machte Kendal[1] in der Nähe des Sclavensees, dessen Höhe 263 engl. Fufs über dem Meeresspiegel geschätzt wird. Das dabei gebrauchte Thermometer war gut, die Uhr von Massey zu Liverpool war zum Arretiren eingerichtet, zeigte 0,1 Sec. und konnte bis 0,01 Sec. geschätzt werden[2]; nur einmal blieb sie bei gröfster Kälte stehn. Die Standlinien, meistens 5280 engl. Fufs lang, die geringste 2640, die gröfste 6084 engl. Fufs, waren mit hölzernen Stangen gemessen. Nehmen wir zuerst die Resultate so, wie sie in englischem Mafse ausgedrückt sind, so war die Geschwindigkeit bei 28° bis 27° F. im Mittel 1118 F., 1122 F., 1114 F., 1102 F., 1104,3 engl. Fufs. Bei 10° bis 3° war sie 1089 F., von — 20° bis — 10° war sie 1088, von — 2° bis — 4° war sie 1079, bei — 35°,8 war sie 1036,08 und wurde durch den Wind um 17,3 Fufs beschleunigt, bei — 41° F. endlich war sie 1030,3 und die Wirkung des Windes betrug 15,1 Fufs. Wenn man die Grade der Fahrenheit'schen Scale in hunderttheilige verwandelt und die erhaltenen mittlern Resultate uncorrigirt nimmt, so ergeben sich folgende durch den Einfluss der Temperatur erzeugte Gröfsen.

---

1 Narrative of a second Expedition to the shores of the Polar-See in the Years 1825, 26 and 27 by John Franklin. Lond. 1828. 4. App. IV.

2 Diese Angabe schliefst eine Unmöglichkeit in sich. Wer jemals mit einer Tertienuhr experimentirt hat, mufs überzeugt seyn, dafs die Zeit durch diese mechanisch zwar in noch kleinere Theile getheilt werden kann, an eine Schätzung dabei aber gar nicht zu denken ist. Kann man also bei dieser die 60stel Secunden, die der Zeiger zeigt, nicht einzeln ablesen, so ist es noch viel weniger möglich, 100stel Secunden blofs zu schätzen.

Digitized by Google

Temperatur 100thl. Sc.	Geschwindigkeit in engl. Fufs	Unterschied für 1° F.
— 2°,50	1112	
		1,15
—14°,70	1089	
		1,15
—19°,44	1079	
		1,28
— 37°,67	1036,1	
		1,09
— 40°,56	1030,3	

Das Mittel aus allen Beobachtungen giebt 1,17 Fufs Beschleunigung für 1° F., von welchem mittleren Werthe die einzelnen Gröfsen so wenig abweichen, dafs hiernach der Einfluſs der Temperatur bis zu den höchsten Kältegraden als sich selbst stets gleichbleibend zu betrachten ist.

Der Barometerstand und die Gradē des Hygrometers sind nicht angegeben. Werden daher die diesen zugehörigen, ohnehin ganz unbedeutenden Correctionen weggelassen, die gefundenen Gröfsen dagegen auf Meter reducirt und für die Temperatur corrigirt, so erhält man folgende Werthe.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeit in 1″. uncorrigirte	corrigirte.
— 2°,50	338,938	340,57
— 14,70	331,928	341,47
— 19,44	328,880	341,93
— 37,67	315,803	340,79
— 40,56	314,037	341,04.

Diese Werthe stimmen zwar insgesammt sehr genau unter einander überein, sind jedoch alle zu grofs, so dafs sie mit einem constanten Fehler behaftet seyn müssen, der bei einer genauern Correction vielleicht wegfallen oder mindestens geringer werden würde.

Bei dem berühmten Winteraufenthalte der englischen Reisenden auf der Insel Melville veranstaltete Capt. Parry[1] in Verbindung mit Lieut. Nias und Fischer mehrere Reihen von Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles. Sie bedienten sich dabei der auf dem Schiffe befindlichen Chrono-

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 289.

meter und mafsen auf dem Eise mehrere Standlinien mit Stangen, deren Gröfse 2880 engl. F., 5632 F., 5643 F., 5645 und 8466 engl. Fufs betrug[1]. Die aus den einzelnen Versuchsreihen erhaltenen mittlern Werthe nebst den ihnen zugehörigen Temperaturen waren bei — 41°,3 F. = 985,9 engl. F., bei — 33°,3 F. = 1011,2, bei — 27°,2 = 1019,2, bei — 21° = 1031, bei — 2° = 1039,8, bei 33°,3 = 1069,9 engl. Fufs. Die Vergleichung der höchsten und tiefsten Temperaturen giebt 1,126 engl. Fufs für 1° F. Parry vergleicht diese Gröfse mit derjenigen, welche Goldingham zu Madras gefunden hat, nämlich 1,35 engl. F. für 1° F. Werden die erhaltenen Werthe auf Meter reducirt und auf gleiche Weise, als eben geschehn ist, für die Temperaturen corrigirt, so giebt dieses folgende Resultate.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeiten in 1″ uncorrigirte	corrigirte.
— 0°,72	326,100	325,66
— 19,00	316,932	328,86
— 29,45	314,250	333,18
— 32,80	310,653	331,72
— 36,28	308,214	331,60
— 40,72	300,503	326,46.

Diese Werthe kommen der Wahrheit so nahe, dafs man kaum voraussetzen darf, eine schärfere Berechnung, wobei zugleich auf den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre Rücksicht genommen würde, könne bei so niedriger Temperatur und trockner Luft die Unterschiede noch mehr verschwinden machen; auf jeden Fall geht aus der gegebenen Zusammenstellung der sämmtlichen, gleichmäfsig berechneten Versuchsreihen hervor, dafs der Einfluss der Temperatur auf die angegebene Weise corrigirt werden kann und keinem andern Gesetze unterliege, als worauf diese gegründet ist. Hierüber entscheidet der Umstand, dafs die in der Mitte liegenden Werthe der Wahrheit am nächsten kommen, die beiden äufsersten aber am stärksten abweichen. Im Mittel aus allen Versuchen beträgt die Ge-

1 Wenn diese Versuche keine gleich grofse Genauigkeit haben, als die meisten der zunächst folgenden, so liegt der Grund hiervon zum Theil wohl in der zu geringen Länge dieser Standlinien.

Digitized by Google

schwindigkeit des Schalles in 1 Sec. 329,152 Meter oder 1013,3 Fufs.

Unter die wichtigsten Versuche über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles gehören diejenigen, die durch Capt. Parry und Lieut. Foster bei ihrem Winteraufenthalte zu Fort Bowen unter 73° 13′ 39″ N. B. und 88 54′ 55″ W. L. von Greenwich 1824 und 25 angestellt wurden[1]. Die dazu gebrauchte Kanone war ein 6pfünder, die trigonometrisch gemessene Standlinie war nach Parry 12892,96 und nach Foster 12892,82, also im Mittel 12892,89 engl. Fufs; zur Zeitmessung dienten Taschen-Chronometer, die Richtung war S. 71° 48′ O., der Wind blofs am 4. Juni stark; beobachtet wurde am 24. Nov. und 8. Dec. 1824, am 10. Jan., 7., 17., 21. Febr., am 2. und 22. März, am 3. und 4. Juni 1825, und dabei folgende Gröfsen gefunden.

Barom. engl. Z.	Therm. Fahr.	Wind	Beobachtete Zwischenzeit Parry	Foster	Mittel	Geschw. in 1″
29,841	— 7°,0	O. S. O.	12,3525	12,4300	12,3912	1040,49
29,561	— 9,0	N. N. O.	12,3310	12,5266	12,4288	1037,34
30,268	— 37,0	O. S. O.	12,5889	12,4700	12,5290	1029,01
29,647	— 24,5	N. O.	12,6390	12,6167	12,6278	1020,99
29,598	— 18,0	Windst.	12,3720	12,4400	12,4060	1039,25
29,735	— 37,5	desgl.	12,8167	12,7067	12,7617	1010,28
30,398	— 38,5	östl.	12,6400	12,7800	12,7100	1014,39
30,258	— 21,5	westl.	12,4000	12,7167	12,5583	1026,64
30,118	+ 33,5	westl.	11,7333	11,7440	11,7387	1098,32
30,102	+ 35,0	S. O.	11,5889	11,4733	11,5311	1118,10

Hierbei sind zwar die Barometerstände angegeben, es fehlen jedoch die Hygrometerbeobachtungen; allein man übersieht leicht, und Moll[2] hat dieses auch durch Berechnung gezeigt, dafs die Aenderung, die hieraus bei so tiefen Temperaturen hervorgehn kann, zu unbedeutend ist, als dafs es nöthig wäre,

1 Journal of a third Voyage for the discovery of a North-West Passage cet. under the ordres of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. 4. App. p. 86.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XIV. 371.

sie zu berücksichtigen. Werden demnach die beobachteten Gröfsen auf Centesimalgrade und Meter reducirt, so erhalten wir folgende Werthe.

Wind	Temperatur Fahr.	Cent.	Geschwindigkeit in 1″ uncorr.	corrig.
Schwacher O. S. O.	— 7°,0	— 21°,67	317,14	330,87
Stürmisch N. N. O.	— 9,0	— 22,78	316,18	330,62
Leicht O. S. O.	— 37,0	— 38,34	313,64	338,95
Leicht N. O.	— 24,5	— 31,39	311,20	331,81
Windstill	— 18,0	— 27,78	316,76	334,67
Windstill	— 37,5	— 38,61	307,93	332,98
Leicht östlich	— 38,5	— 39,16	309,19	334,15
Leicht westlich	— 21,5	— 29,72	312,92	331,96
Leicht östlich	+ 33,5	0,83	334,77	334,25
Stark S. O.	+ 35,0	1,67	340,80	339,73

Moll bemerkt mit Recht, dafs man sich über die grofse Genauigkeit dieser Versuche wundern mufs, wenn man bedenkt, unter was für nachtheiligen Bedingungen sie angestellt wurden, nämlich bei einer so enormen Kälte, statt dafs alle übrige, mit Ausnahme der beiden zuletzt erwähnten Reihen, unter günstig gewählten Umständen, meistens in heiteren und warmen Nächten, ausgeführt wurden. Das arithmetische Mittel aus allen beträgt 334 Meter für 1 Secunde; wenn man aber die beiden in einer Temperatur über dem Gefrierpuncte des Wassers erhaltenen Resultate und das des dritten Versuchs ausschliefst, welches bei fast gleicher Temperatur, als das des sechsten, erhalten wurde und sich mit diesem verglichen offenbar als zu grofs zeigt, so erhält man als Mittel = 332,44 Meter, welche Gröfse von der durch die holländischen Physiker gefundenen und als normal zu betrachtenden um nicht mehr als + 0,293 Meter abweicht. Läfst man dagegen blofs die letzte Beobachtung weg, so ist der mittlere Werth aus allen übrigen = 333,36 Meter. Moll findet hierfür nach einer etwas veränderten Methode der Berechnung 333,15 Meter und giebt überhaupt folgende Zusammenstellung der durch die vorzüglichsten Messungen gefundenen Resultate.

Digitized by Google

Die 9 ersten durch Parry und Foster erhaltenen Werthe geben V = 315,42597826 Meter bei — 27°,62 C., also ist

V″ =	333,15	Met.
Die 5te und 6te Versuchsreihe geben V″ =	333,71	—
die achte und neunte =	332,85	—
die holländischen Physiker fanden	332,05	—
Stampfer und v. Myrbach	333,25	—
die französ. Akademiker, letzte Messung	331,05	—
Benzenberg	333,70	—
Espinosa und Bauza in Chili	356,14	—
Olinthus Gregory in England	335,14	—
die französischen Akademiker, erste Messung	332,93	—

Diese Bestimmungen sind jedoch nicht alle von gleichem Werthe, und man würde sich daher von der Wahrheit entfernen, wenn man aus allen das arithmetische Mittel nehmen wollte. Bei weitem den gröfsten Werth haben die holländischen Versuche wegen der Beobachtungsmethode und der gebrauchten Instrumente. Die englischen Versuche sind zwar bewunderungswürdig genau, allein bei den nachtheiligen Bedingungen, unter denen sie angestellt wurden, eignen sie sich weniger zur Lösung des fraglichen Problems im Allgemeinen, als vielmehr zur Begründung der Ueberzeugung, dafs der Einfluss der Temperatur bei den tiefsten Kältegraden sich stets gleich bleibt und auf gleiche Weise als bei gröfserer Wärme corrigirt werden kann. Am meisten verdienen die durch die französischen Akademiker gefundenen Werthe berücksichtigt zu werden, da die Versuche sowohl rücksichtlich der Beobachter als auch der gebrauchten Instrumente und der gewählten Methode auf einen hohen Grad von Genauigkeit gerechte Ansprüche haben. Es scheint mir daher am besten, bei dem überwiegenden Werthe der durch die holländischen Physiker erhaltenen Resultate die übrigen nur als zur Controle dienend zu betrachten, die eigentliche Bestimmung aber aus jenen zu entnehmen. Indem aber Moll aus seiner Berechnung derselben die corrigirte Geschwindigkeit = 332,05 Meter, Simons aber (§. 72.) = 332,244 Meter findet, so ist das Mittel aus beiden Werthen, also 332,147 Meter, als der Wahrheit am nächsten kommend zu betrachten. *Hiernach durchläuft also der Schall die trockene oder nur in einem geringen Grade feuchte Luft bei mittlerem Barometerstande und bei* 0° *C.*

Digitized by Google

Temperatur mit einer Geschwindigkeit von 332,15 *Meter oder* 1022,5 *par. Fuſs in einer Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit*[1].

b) Theorie der Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

68) Es scheint mir zweckdienlich, vor einer Untersuchung der sonstigen Bedingungen, die auf die Fortpflanzung des Schalles einen Einfluſs ausüben, eine Uebersicht der theoretischen Betrachtungen vorauszuschicken, durch die man die Geschwindigkeit der Schallbewegung in der Luft zu bestimmen gesucht hat. Soviel unterliegt vorerst keinem Zweifel, daſs die Fortpflanzung des Schalles durch eine Wellenbewegung geschieht, die derjenigen, wodurch der Schall erzeugt wird, gleich ist; auch durchläuft eine Schallwelle beim Fortgange in der nämlichen Zeit einen gegebenen Raum, in welcher sie bei der Erzeugung des Tones diesen nämlichen Raum in der tönenden Pfeife zurücklegt. Inwiefern die Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles in festen Körpern hiermit Aehnlichkeit habe, wird später gezeigt werden. Wir müssen uns also die Wellenbewegung bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft gerade so vorstellen, als sie oben (B) versinnlicht worden ist, wobei die Wellen der einzelnen Töne die nämliche Länge[2] beibehalten, die sie in den Pfeifen zwischen zwei Schwingungsknoten einnehmen, obgleich es schwer ist, diese Vorstellung auf den unbegrenzten Raum und die Bewegung von einem Puncte aus in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung überzutragen. Es folgt hieraus aber, daſs in Gemäſsheit der Wellenbewegung überhaupt die Fortpflanzung des Schalles nicht mit einem Fortschreiten der Luft (einem *motus progressivus*) verbunden ist, daſs vielmehr diese sich in Ruhe befindet, die feinen Bebungen abgerechnet, die auch in den tönenden Luftsäulen der Pfeifen gefunden werden und andere feste Körper zum Mittönen bringen oder erzittern machen.

1 Will man sich einer schärferen Berechnung überheben, so kann man für 1° C. Temperatur 1,926 in genähertem Werthe annehmen.

2 Ueber die Ausdrücke „Länge und Breite der Wellen" s. §. 38. c. Anm.

Digitized by Google

Dafs hierbei der Schall zu seiner Fortpflanzung einer eigenthümlichen unbekannten Flüssigkeit bedürfe, wie Giroa de Buzareingues[1] annehmen will, ist der Sache zu wenig angemessen, als dafs es eine Widerlegung erfordern könnte.

69) Der erste, welcher eine Theorie dieser Wellenbewegung aufgestellt hat, aus welcher dann die Geschwindigkeit der Fortpflanzung folgt, ist Newton[2]. Nach einer allgemeinen Darstellung dieser Art von Bewegungen zeigt er, dafs die Geschwindigkeiten der in einem elastischen Mittel fortgepflanzten Schläge (*pulsus*, so viel als Wellen) sich direct wie die Quadratwurzeln der Elasticitäten und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeiten verhalten, ein für die Bestimmung der Tonhöhen, die durch die Schwingungen ungleicher elastischer Flüssigkeiten in den nämlichen Pfeifen erzeugt werden, höchst wichtiges Axiom. In gleich dichten und gleich elastischen Medien gehn daher die Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fort. Der Hauptsatz der Theorie ist dann, dafs die hin und zurück oscillirenden Theilchen der elastischen Flüssigkeiten nach den Gesetzen der Schwungbewegung der Pendel beschleunigt und retardirt werden, wodurch das Mittel gegeben ist, aus der Dichtigkeit und Elasticität der Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schallwellen zu finden. Es müssen nämlich die Pulsus der Schallwellen in der nämlichen Zeit den Umfang des Kreises durchlaufen, in welcher ein Pendel von der Länge des Durchmessers dieses Kreises eine ganze Schwingung vollendet, vorausgesetzt dafs das Medium überall gleichmäfsige Dichtigkeit habe. Die Zeit t einer ganzen Pendelschwingung ist aber $t = \pi \sqrt{\frac{2l}{g}}$, wenn die Länge des Secundenpendels $= l$, der Fallraum eines Körpers im leeren Raume und im Niveau des Meeres g ist und π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet[3]. In der nämlichen Zeit durchläuft die Schallwelle den Raum $\pi 2l$, und es findet also für eine Secunde das Verhältnifs $2\pi l : \pi \sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{2lg}$ statt. Es ist aber $\sqrt{2lg}$ der Ge-

1 Annales de la Soc. Linn. de Paris. T. V. p. 191.
2 Princ. Lib. II. Sect. VIII. prop. 42 bis 50.
3 S. *Pendel.* Bd. VII. S. 309.

Digitized by Google

schwindigkeit gleich, welche der Fallhöhe $= \frac{1}{2}l$ zugehört, mithin der Geschwindigkeit, welche ein Körper durch den Fall von einer Höhe erhalten haben würde, die der halben Atmosphäre von gleicher Dichtigkeit, als diese im Niveau des Meeres hat, gleich kommt. Letztere läfst sich durch die Länge der Quecksilbersäule im Barometer und das Verhältnifs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber nach hydrostatischen Gesetzen finden, und diesemnach mufs der Schall in einer Secunde den Raum durchlaufen, welcher durch die Formel $\sqrt{2pBg}$ gegeben ist, wenn p das spec. Gewicht des Quecksilbers zur Luft, B die Barometerhöhe und g den Fallraum eines frei fallenden Körpers in einer Secunde bezeichnet. Newton nimmt in englischem Mafse das Verhältnifs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber

$$= 1 : 13{,}5 \times 850 = 1 : 11617,$$

die Barometerhöhe $= 30$ Zoll, wonach also

$$pB = \tfrac{30}{12} + 11617 = 29042 \text{ Fufs}$$

beträgt, und aus der Länge des Secundenpendels $= 39{,}2$ Zoll setzt er $g = 16{,}12$ Fufs, so dafs also die Geschwindigkeit des Schalles in einer Secunde

$$V = \sqrt{(2 \times 29042 \times 16{,}12)} = 968 \text{ Fufs}$$

gefunden wird. In den spätern Ausgaben wird das Verhältnifs des specif. Gewichts $= 1 : 13\frac{3}{4} \times 870 = 1 : 11890$ gesetzt, wonach also $pB = 29725$ und $V = 979$ Fufs wird.

Schon damals wufste man aus einigen unvollkommenen Versuchen, namentlich wo die von Mersenne bekannt waren, dafs die Erfahrung die Schallgeschwindigkeit gröfser angebe, und Newton setzte daher eine Correction hinzu, die bei der Unbestimmtheit, womit sie hingestellt ist, ihrem eigentlichen Sinne nach nicht leicht verstanden wird. Er sagt nämlich, man müsse bei der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit noch den Einfluss der festen Bestandtheile der Luft berücksichtigen, in denen die Fortpflanzung ohne Zeitverlust (*in instanti*) geschehe. Angenommen die Dicke dieser Bestandtheile verhielte sich zu den Zwischenräumen wie 1 zu 9, so müsse die Geschwindigkeit dadurch um $\frac{1}{9}$ vermehrt werden und also 1088 Fufs in 1 Secunde betragen. Das hier angenommene Verhältnifs scheint mir nicht willkürlich gewählt zu seyn, sondern auf dem Verhältnisse der Dichtigkeit der Luft zum Wasser zu

Digitized by Google

beruhn. Betrüge nämlich der lineare Abstand der festen Theile der Luft die neunfache Dicke der letzteren, so müfste eine Verdichtung des Luftvolumens zum 9^3fachen die Luft in einen festen oder tropfbar flüssigen Körper verwandeln; es giebt aber $9^3 = 729 : 1$ das Dichtigkeitsverhältnifs des Wassers zur Luft so genau an, dafs für ganze Zahlen diese Bestimmung der Wahrheit am nächsten kommt. Die hieraus entnommene Correction würde aber zu der Folgerung führen, dafs der Fortgang des Schalles durch feste Körper instantan erfolge oder keine mefsbare Zeit erfordere, unmittelbare Berührung ihrer Elementartheilchen und keinen Zeitverlust beim Uebergange des Schalles von dem einen zum andern derselben vorausgesetzt[1]. Abgerechnet aber, dafs bei der angenommenen Verdichtung noch keine absolute Dichtigkeit erhalten würde und daher der Abstand der Atome gröfser angenommen werden müfste, streitet jene Vorstellung ganz gegen die Natur der Schallwellen, die eine successive Verdichtung und Verdünnung in den Körpern jeder Art voraussetzen, so dafs in den Atomen an sich, sofern sie einer Verdichtung und Verdünnung nicht fähig sind, auch keine Schallfortpflanzung statt finden könnte. Richtig ist dagegen eine zweite durch Newton angegebene Correction, die auf der Anwesenheit der Dämpfe in der atmosphärischen Luft beruht, wodurch die Dichtigkeit derselben vermindert wird, da die Geschwindigkeiten der Schallfortpflanzung sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten. Wäre demnach in 11 Theilen Luft 1 Theil Wasserdampf enthalten, so müfste die Geschwindigkeit im Verhältnifs von $\sqrt{10} : \sqrt{11} = 20 : 21$ gröfser werden, mithin kämen zu 1088 Fufs noch 54 hinzu und der in 1 Secunde durchlaufene Weg betrüge also 1142 engl. Fufs.

Newton's Hypothese wurde durch L. Euler[2] wegen des nichtigen Einwurfs bestritten, dafs nach derselben die Luft nur um das Zehnfache ihres Volumens zusammendrückbar seyn müsse. Dennoch trat er der Theorie im Ganzen bei und

1 Prechtl in G. XXI. 449. vertheidigt diese Hypothese Newton's.

2 Conjectura physica circa propagationem soni ac luminis. Berol. 1750. 4.

nahm die gefundene Gröfse = 979 Fufs als richtig an, glaubte aber, die Geschwindigkeit der Schläge werde durch die folgenden Schläge vermehrt, so dafs also die Geschwindigkeit von der Menge der Schläge (*frequentia pulsuum*) abhängen, also bei hohen Tönen gröfser als bei tiefen seyn müsse, was der Erfahrung widerstreitet, wie Euler[1] später selbst einsah und daher der genannten Theorie im Allgemeinen beitrat. Gabriel Cramer[2] hielt diese Theorie für unhaltbar, weil sie zu anderweitigen, mit der Erfahrung nicht übereinstimmenden Folgerungen führe. La Grange[3] glaubte die Abweichung der Theorie von der Erfahrung daraus erklären zu können, dafs die bereits comprimirte Luft durch Vermehrung der zusammendrückenden Kraft weniger zusammengedrückt werde, Sulzer[4] dagegen nimmt gerade das Gegentheil an; beide Voraussetzungen sind jedoch mit der Erfahrung nicht übereinstimmend, da nach dieser das Mariotte'sche Gesetz innerhalb der angegebenen Grenzen allerdings zulässig ist. Chladni[5] und nach ihm Fischer[6] suchen die Ursache der Abweichung der Theorie von der Erfahrung in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Gasmischung, die in der atmosphärischen Luft gegeben ist, was jedoch im Ganzen nichts sagt; Lambert[7] wollte sie aus beigemengten heterogenen Bestandtheilen erklären, die das Gewicht der Luft vermehrten, nicht aber ihre Elasticität. Man kann aber alle diese Bemühungen nur als mifslungene Versuche betrachten.

70) Verschiedene Gelehrte haben mit einem grofsen Aufwande derjenigen Hülfsmittel, die die höhere Analysis darbietet, eine Theorie der Schwingungen aufzufinden gesucht, wodurch die Fortpflanzung der Schallwellen bewirkt wird. Die vorzüglichsten und gelehrtesten Abhandlungen hierüber

1 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. §. 42. Comm. Acad. Petrop. T. XVI.

2 Newtoni Princ. ed. Le Sueur et Jacquier ad L. II. Prop. XLVII. p. 364.

3 Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. II. P. 2. p. 150.

4 Mém. de l'Acad. de Berl. 1753.

5 Akustik. S. 226.

6 Berliner Denkschriften 1816 u. 17. S. 63.

7 Mém. de Berlin. 1768. p. 70. G. XLIV. 240.

Digitized by Google

sind von L. la Grange[1], L. Euler[2], Poisson[3], Richard van Rees[4], W. Herschel[5], und mehrere kürzere, z. B. von Ivory[6], die rücksichtlich der Darstellung mit denen von Poisson sehr nahe übereinstimmen, von Galbraith[7], der hauptsächlich der Behandlung des Gegenstandes durch Ivory folgt, von Biot[8], Trembley[9] und Andern. Wie verschieden aber auch die Arten der Behandlung dieses schwierigen Problems sind, die ich hier wegen ihrer Ausführlichkeit und der Tiefe des in ihnen herrschenden Calcüls mitzutheilen billig Anstand nehme, so führen sie doch insgesammt zu dem Resultate, dafs nach Newton's richtiger Hypothese die Geschwindigkeit des Schalles in trockner Luft in 1 Secunde der Quadratwurzel aus dem Producte der Barometerhöhe in die Fallgeschwindigkeit einer Secunde dividirt durch das Dichtigkeitsverhältnifs der Luft zum Quecksilber gleich ist. Der Ausdruck hierfür ist also

$$V = \sqrt{\frac{2gB}{\delta}}.$$

Da in diesem Werke einmal aus genauen Messungen bestimmte Gröfsen angenommen sind, so entlehne ich diese hier zur Substitution in diese Formel. Nach den Fallgesetzen[10]

---

1 Mém. de Turin. T. I. p. 247. und Miscellan. Taurin. T. II.

2 Ebend. T. II. u. III. und Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. p. 185. 210. 241. Desgl. ebend. 1765. p. 335.

3 Mém. de l'Acad. Inst. de France. T. XVIII. p. 121. u. Journ. de l'École Polyt. Cah. XIV. p. 360. Vergl. Ann. Chim. et Phys. XXII. p. 5.

4 Dissert. physico-math. inauguralis de celeritate soni per fluida elastica propagati cet. Traj. ad Rhen. 1819. 4.

5 Encyclop. metropolitana. Art. Sound.

6 Philosophical Magaz. and Journ. T. LXIII. p. 426. T. LXVI. p. 1. und in Philos. Magaz. or Ann. T. I. p. 249. Vergl. Avogadro in Memorie della Reale Accad. delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237. Ivory's Darstellung ist heftig angegriffen worden durch H. Meikle in Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VII. p. 124.

7 Philos. Magaz. and Journ. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. Phil. Magaz. or Ann. T. I. p. 336.

8 Journ. de Phys. T. LVII. p. 173. Vergl. Traité de Phys. T. II. p. 6 ff. G. XVIII. 385.

9 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1801.

10 S. *Fall.* Bd. IV. S. 9.

Digitized by Google

ist der Fallraum in einer Secunde $g = \frac{1}{2} L.\pi^2$, wenn L die Länge des einfachen Secundenpendels und π das Kreisverhältnifs bezeichnet. Die Länge des Secundenpendels unter 45° N. B. ist aber[1] $L = 0{,}993534$ Meter oder 440,429754 Linien, mithin ist $2g = 9{,}8058$ Meter oder 30,186 par. Fufs. Das Dichtigkeitsverhältnifs des Quecksilbers gegen Luft[2] bei 0° C. unter dem 45sten Grade der Breite im Spiegel des Meeres und bei 0,76 Meter oder 336,905 par. Lin. Barometerhöhe ist aber 10466,8, wobei dann B oder die Barometerhöhe von selbst gegeben ist. Werden diese Gröfsen in die angegebene Formel substituirt, so ergiebt sich

$$V = 279{,}29 \text{ Meter oder } = 859{,}77 \text{ par. Fufs,}$$

ein Werth, welcher weit geringer ist, als der durch Erfahrung gefundene. Dieser Werth von V gilt jedoch blofs für die angegebenen Bedingungen und ändert sich, wenn diese anders werden. In Beziehung auf diese Correctionen ist zu bemerken, dafs der Unterschied der geographischen Breite nicht von directem Einflusse ist, vielmehr vernachlässigt werden kann, da er bei der Bestimmung von g und von δ in entgegengesetztem Sinne vorkommt; auch die Veränderung des Barometerstandes fällt dadurch weg, dafs die Dichtigkeit der Luft als Hauptfactor bei der Bestimmung von δ in gleichem Verhältnisse abnimmt, als die Quecksilberhöhe im Barometer wächst. Dagegen ist die Wärme vom bedeutendsten Einflusse, indem die Geschwindigkeiten der Schallwellen wie die Quadratwurzeln aus dem durch Wärme vergröfserten Luftvolumen wachsen (§. 46.). Aufserdem wird die Luft durch die Anwesenheit der Wasserdämpfe leichter und dieses beschleunigt daher den Fortgang des Schalles in ihr. Auf welche Weise die Dichtigkeit der Luft für ihren Gehalt an Wasserdampf corrigirt werden könne, ist bereits gezeigt worden[3], die Ausmittelung dieses Gehaltes geschieht aber vermittelst des Hygrometers[4], und wenn dann auf diese Weise die Spannung des Wasserdampfes gefunden worden ist, so läfst sich nach dem von Gay-Lussac gefundenen Verhältnisse der Dichtigkeiten von Dampf und

1. S. *Pendel.* Bd. VII. S. 373.
2. S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1529.
3. S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1499.
4. Vergl. *Hygrometer.* Bd. V. S. 648.

Luft $= \frac{10}{11}$ oder $= \frac{5}{6}$, diese Gröfse von der Einheit abgezogen, der Einfluſs des Wasserdampfes finden. Hiernach ist die Formel für die theoretisch zu bestimmende Geschwindigkeit des Schalles in Metern

$$V = 279{,}29\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{(1-0{,}375\,\frac{f}{b})}}$$

und in par. Fuſs

$$V' = 859{,}77\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{(1-0{,}375\,\frac{f}{b})}},$$

wenn t die beobachtete Temperatur in Centesimalgraden, f die Spannung des Wasserdampfes[1] und b den auf 0° reducirten Barometerstand bezeichnet. Ist eine bei irgend einer Temperatur unter oder über 0° C. und bei vorhandener Feuchtigkeit gemachte Beobachtung gegeben, so wird diese leicht auf den ursprünglichen oder normalen Werth reducirt, indem

$$V = \frac{V'}{\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{\left(1-0{,}375\,\frac{f}{b}\right)}}}$$

ist. Dieser analytische Ausdruck gilt für Meter sowohl, als auch für Pariser Fuſs, wenn in beiden Fällen t in Graden der Centesimalscale und die Gröfsen f und b in dem nämlichen Maſse ausgedrückt werden. Der letzte Factor des Nenners ist allezeit von der Einheit wenig verschieden, denn f ist stets viel kleiner als b, daher $\frac{f}{b}$ ein kleiner Bruch, welcher mit seinem Coefficienten multiplicirt die Einheit nur wenig vermindert, so daſs das ganze Glied des Nenners bei niedriger Temperatur und geringer Feuchtigkeit der Atmosphäre meistens vernachlässigt werden kann. Unter den Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, muſs noch diejenige erwähnt werden, wozu die bekannte *Dalton'sche Theorie* Veranlassung gab. Als nämlich DALTON[2]

---

1 Vergl. Bd. II. S. 851.

2 Manchester Mem. T. V. Ein neues System des chem. Theiles

die Hypothese aufgestellt hatte, dafs die verschiedenen expansibeln Flüssigkeiten abgesondert für sich in der Mengung der atmosphärischen Luft beständen, brachte zwar Gough[1] hiergegen sogleich das Argument vor, dafs dann der Schall in einer jeden dieser vereinten Atmosphären mit einer verschiedenen Geschwindigkeit fortgeleitet und daher bei einiger bedeutenden Entfernung vervielfacht gehört werden müsse, Benzenberg[2] dagegen berechnete aus den verschiedenen Dichtigkeiten der vereinten Atmosphären, dafs die des Wasserdampfes gerade ausreiche, um die aus den Versuchen hervorgehende gröfsere Geschwindigkeit des Schalles zu erklären. Hierbei mufste er zwar die Dichtigkeit des Wasserdampfes gröfser annehmen, als dieselbe sonst bestimmt ist, jedoch brachte ihn dieses Argument weniger von seiner Ansicht zurück, als vielmehr die triftigsten Gründe, womit Olbers[3] die Unhaltbarkeit derselben darthat, deren Mittheilung mir jedoch überflüssig scheint, da die ganze Theorie gegenwärtig als unzulässig betrachtet wird. Hube[4] meint, die Geschwindigkeit des Schalles sey derjenigen gleich zu setzen, womit die Luft in den leeren Raum strömt, also 1277 Fufs in einer Secunde[5]; eine Hypothese, die ich nur beiläufig erwähne.

71) Nach oft wiederholten und lange Zeit fortgesetzten vergeblichen Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen, stellte La Place[6] die Hypothese auf, die Vermehrung der Schallgeschwindigkeit entstehe durch die Wärme, welche durch die Schallwellen selbst ausgeschieden würde und die Elasticität der Luft vermehre. Der grofse Geometer wurde hierauf geleitet durch die Resultate derjenigen Versuche, woraus hervorging, dafs jede mechanische Zusammendrückung der elastischen Flüssigkeiten Wärme entbinde und jede Ausdehnung dieselbe in gleichem quantitativen Ver-

---

d. Naturw. von John Dalton. A. d. E. von Wolf. Th. I. S. 170. G. XII. 385. XXI. 382.

1 G. XXI. 403.

2 G. XLII. 156.

3 G. XLIX. 154.

4 Unterricht in der Naturlehre. Leipz. 1801. Th. IV. S. 377.

5 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 594.

6 Ann. Chim. et Phys. T. III. p. 238. T. XXIII. p. 1. Am ausführlichsten in Méc. cel. T. V. p. 119.

Digitized by Google

hältnisse latent mache. Um dieses Problem, welches bereits für einen andern Zweck erörtert werden mufste[1], hier möglichst einfach und leicht darzustellen, lasse ich die damit verbundene Frage über die hierbei thätige Wärme, nämlich diejenige, die den Gasarten ihre Expansion giebt, diejenige, die allen Körpern in verschiedenem Mafse eigen ist, und die sogenannte Wärme des Raumes ganz unerörtert und rede blofs im Allgemeinen von der Wärme der Gasarten, wovon ein Theil durch Zusammendrückung ausgeschieden wird und eine gleiche Menge sich bei gröfserer Ausdehnung als mangelnd zeigt, beide thermometrisch mefsbar. Diesemnach soll die theoretisch gefundene, wegen der Temperatur und der Feuchtigkeit corrigirte Geschwindigkeit des Schalles mit einem Factor $= \frac{c'}{c}$ oder $= k$ multiplicirt werden, welcher das Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter einem beständigen Drucke zu ihrer specifischen Wärme bei constantem Volumen ausdrückt. Es ist also fraglich, wie dieser Factor $\frac{c'}{c} = k$ gefunden werde. Hierzu sind im Allgemeinen zwei Methoden anwendbar, die eine, indem man die Factoren c' und c durch eigene Versuche bestimmt, die andere, indem man den Werth von k aus den Resultaten entlehnt, die aus der Erfahrung über die Schallgeschwindigkeit bekannt sind. Beide Methoden sind bisher in Anwendung gebracht worden; die letztere setzt die Richtigkeit der durch La Place aufgestellten Hypothese nebst der theoretisch bestimmten Schallgeschwindigkeit, sowie auch die durch Erfahrung gefundene voraus und sucht dann einen constanten Factor, welcher die durch Versuche gefundenen Werthe den theoretisch bestimmten gleich macht, rücksichtlich der erstern dagegen geht aus dem Resultate der früher hierüber angestellten Untersuchungen[2] hervor, dafs die Bestimmungen der Werthe von c' und c noch sehr schwankend und von einander abweichend sind, auch zeigt sich bei den französischen Gelehrten ein unverkennbares Bestreben, die durch Versuche gegebene Schallgeschwindigkeit möglichst klein, dagegen die Gröfsen c' und c so zu bestimmen, dafs der Quotient grofs genug

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1048.
2 Art. *Erde* a. a. O.

Digitized by Google

werde, um den Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung verschwinden zu machen.

Alle spätere Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in atmosphärischer Luft nehmen auf diesen Factor Rücksicht und weichen blofs in der Darstellung der Sachen oder wohl gar nur in der Wahl der Zeichen von einander ab; es wird daher genügen, blofs einige der vorzüglichsten ihrem wesentlichen Inhalte nach mitzutheilen, um dadurch einen Ueberblick der verschiedenen Darstellungen zu geben. Die gewöhnliche Bezeichnung der Newton'schen Formel, namentlich bei den französischen Gelehrten, ist

$$V = \sqrt{g \frac{h}{D}},$$

worin V wie oben die Schallgeschwindigkeit in 1 Sexagesimalsecunde, g die mittlere Fallgeschwindigkeit in der nämlichen Zeit (wofür nach der Observanz in diesem Werke oben $2g$ gesetzt ist), $\frac{h}{D}$ aber die Barometerhöhe und Dichtigkeit der Luft, entweder für 0° C. und den angenommenen mittlern Barometerstand, oder für diejenige Temperatur und Barometerhöhe bezeichnet, welche bei den Versuchen beobachtet wurden. Die Formel kommt also der oben §. 70. mitgetheilten gleich, mit dem einzigen Unterschiede, dafs der Factor für die Correction wegen des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre darin fehlt[1]. La Place[2] bezeichnet g durch ε, die Relation $\frac{h}{D}$ durch h, und erhält demnach als analytischen Ausdruck

$$V = \sqrt{2h\varepsilon}.$$

Für die Beobachtungen der Pariser Akademiker im Jahr 1783 bei 7°,5 C. Temperatur giebt diese Formel 283,4 Meter, statt dafs die Erfahrung 337,2 Meter gab. Clement und Desormes fanden bei ihren erwähnten Versuchen, indem die Differenz der Spannung bei der im Ballon eingeschlossenen Luft 13,81 Millim. betrug, nach Wiederherstellung des Gleichgewichts eine aufs Neue entstehende Verminderung von 3,611 Millimeter. Es ist aber $\frac{13,81}{10,199} = 1,354$, und da für die Tem-

1 Vergl. Biot Traité T. II. p. 17.
2 Mécan. cel. T. V. p. 121.

peratur = 12°,5 C., wobei dieser Versuch angestellt wurde, $\sqrt{2\,h\,\varepsilon} = 286{,}1$ Meter, so giebt $\sqrt{2\,h\,\varepsilon\,\frac{13{,}81}{10{,}199}}$ die theoretische Schallgeschwindigkeit = 332,9 Meter. Die Erfahrung gab 337,2 Meter für 7°,5, also für 12°,5 corrigirt 340,4 Meter, welches die theoretische Schallgeschwindigkeit um nicht mehr als 7,5 Meter übersteigt.

La Place erhielt die Mittheilung von Resultaten anderer Versuche, die Gay-Lussac und Welter angestellt hatten[1], und die insofern von den erwähnten unterschieden waren, als sich im Ballon ursprünglich verdichtete Luft befand, die durch Oeffnen eines Hahns auf die Elasticität der äufsern gebracht wurde. Bei dem Versuche betrug der Ueberschufs des Drucks der Luft im Ballon 16,3644 Millim. und nach dem Auslassen der Luft stieg der Unterschied wieder auf 4,4409 Millimeter. Indem aber während der Dauer des Versuchs der äufsere Luftdruck 757 Millim. und die Temperatur 13° C. betrug, so war P = 757 Millim., P′ — P = 16,3644 Millim., P″ — P = 4,4409 Millimeter, und also

$$\frac{P' - P}{P'' - P'} = \frac{16{,}344}{11{,}9235} = 1{,}37244,$$

welcher Werth die theoretische Schallgeschwindigkeit = 335,2 Meter giebt und also der durch Erfahrung gefundenen noch näher bringt. Weil jedoch auch hierdurch noch keine völlige Uebereinstimmung erhalten wurde, so fand sich das Längenbureau bewogen, die früheren Schallversuche durch die Mitglieder des Institutes wiederholen zu lassen, was dann auf die oben bereits angegebene Weise geschah. Bei der Berechnung der hierdurch gefundenen Resultate[2] wurde die Fallgeschwindigkeit nach de Borda = 9,80875 Meter, die Barometerhöhe 0,76 Meter und das Verhältnifs der Dichtigkeit des Quecksilbers gegen Luft nach Biot und Arago = 10466,82 angenommen, wonach dann die theoretische Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{(9^m{,}80875 \times 0^m{,}76 \times 10466{,}82)} = 279^m{,}331 = 860\,F.$$

---

1 La Place erwähnt die Versuche von La Roche und Bérard aus Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 72. nicht, die jedoch gleichfalls für diesen und ähnliche Zwecke benutzt werden.

2 Vergl. Ann. Chim. et Phys. XX. 266.

seyn würde[1]. Die Temperatur bei den Versuchen war 16° C. (nach Mécan. cel. = 15°,9), und hiernach erhält man also

$$V = 279^m,331 \times \sqrt{(1 + 0{,}00375 \times 16)} = 287^m,59 = 885{,}12\,F.$$

Der Coefficient $\frac{c'}{c} = k$, wie er aus allen Versuchen von Gay-Lussac und Welter hervorgeht, beträgt für $0^m,757$ Barometerhöhe = 1,3748 und es soll sich von — 20° bis + 40° C. Temperatur und $0^m,142$ bis $2^m,300$ Barometerhöhe oder Quecksilberdruck keine meſsbare Abweichung von dieser Gröſse zeigen. Hiernach ist also

$$287^m,59 \times \sqrt{1{,}3748} = 337^m,202 = 1038{,}2 \text{ Fuſs.}$$

Das Haarhygrometer zeigte bei den Versuchen 72° und hiernach beträgt die hieraus hervorgehende unbedeutende Correction $0^m,574$, so daſs die theoretische Schallgeschwindigkeit in diesem Falle 337,776 Metern gleichzusetzen ist, was von der aus den Versuchen hervorgehenden = 340,9 Metern nur um $3^m,1$ abweicht[2].

Poisson's[3] Darstellung weicht hiervon nur unbedeutend ab und möge daher bloſs aus Rücksicht auf den berühmten Autor kurz erwähnt werden. Die von ihm gegebene Formel für die Schallgeschwindigkeit ist

$$V = \sqrt{\frac{g\,h}{D}\left(1 + \frac{\alpha\,\omega}{(1+\alpha t)\,\gamma}\right)}.$$

Hierin sind die Bezeichnungen g, h, D und t aus dem früher Gesagten bekannt, ω bezeichnet dann eine Veränderung dieser Temperatur, die einer Dichtigkeit = γ zugehört, und α ist der Coefficient der Luftausdehnung durch Wärme. Werden dann die eingeklammerten Gröſsen aus den Versu-

1 Die höchst unbedeutende Abweichung von der §. 70. gegebenen Normalbestimmung rührt von der Pendellänge, die hier nach de Borda, oben aber nach den neuesten Messungen genommen ist.

2 Da die aus den Versuchen der französischen Akademiker erhaltene Schallgeschwindigkeit kleiner ist, als die der holländischen Physiker, und der Coefficient k gröſser, als aus andern Untersuchungen folgt (S. Erde a. a. O.), so kann diese Abweichung von $3^m,1$ nicht wohl gering genannt werden.

3 Journ. de l'École polytechn. Cah. XIV. p. 360. Ann. Ch. Phys. XXII. 5. XXIII. 337. Connaissance des Temps. 1826. p. 257.

Digitized by Google

chen von Clement und Desormes[1] bestimmt, so setzt man kurz

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}}.k.$$

Es ist also $k = 1{,}3492$, und indem dann $t = 12°{,}5$ ist, $g = 9{,}8087$ Meter genommen wird,

$$h = 0^m{,}7665, \quad D = 0{,}000092042 \ldots,$$

so ist $\frac{h}{D} = 8327^m{,}66$ und $V = 331^m{,}97$. Die Mitglieder des Längenbüreaus fanden aus ihren mehrerwähnten Versuchen bei 15°,9 C. und 72° des Hygrometers $V = 340^m{,}89$, welches um $8^m{,}92$ zu grofs ist, statt dafs es für den Thermometerstand und das Hygrometer nur $2^m{,}69$ zu grofs seyn müfste[2]. Poisson meint, dafs aus den Versuchen von Clement und Desormes für $\gamma = 0{,}01355$ die Gröfse $\omega = 1°{,}321$ gefunden worden sey, statt dafs sie $= 1°{,}513$ seyn müsse, um dem durch die Akademiker erhaltenen Resultate zu genügen, jedoch könne dieser geringe Unterschied leicht der Wärmeabsorption durch die Wandungen der Gefäfse beigemessen werden. Poisson zeigt dann ferner, dafs diese Formel aus den Versuchen abzuleiten sey, ohne sie auf die Hypothese zur Erklärung des Mariotte'schen Gesetzes und der Ausdehnung der Gasarten zurückzuführen. Bezeichnet γ eine derjenigen gleichkommende Condensation der Luft, welche dieselbe durch eine kleine Verminderung der Temperatur bei gleichbleibendem Drucke erleidet, und welche Verminderung $= n$ seyn möge, so ist $\gamma = \frac{\alpha n}{1 + \alpha t}$ und

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}\left(1 + \frac{\omega}{n}\right)}.$$

Heifst dann N diejenige Wärme, welche man der gegebenen Menge Luft mittheilen müfste, um ihre Temperatur von $t - n$ auf t bei gleichbleibendem Drucke zu erhöhn, und man condensirte die hierdurch ausgedehnte Luft plötzlich, um sie auf ihre ursprüngliche Dichtigkeit zurückzubringen, so müfste sie die Condensation $= \gamma$ erleiden und ihre Temperatur würde hier-

4 Journ. de Phys. 1819. Nov. p. 334.

2 Man sieht, dafs La Place's numerische Rechnung schärfer ist.

durch $= t + \omega$ werden. Hierdurch würde aber h vermehrt. Wäre dann die Temperatur ohne Veränderung des Volumens auf $t - n$ vermindert, so müfste die Elasticität $= h$ wieder hergestellt seyn. Diese Verminderung des Druckes würde eine kleine Verminderung der Temperatur hervorbringen, die man $\omega + n$ setzen und durch $a(\omega + n)$ ausdrücken kann, wenn a die Wärmemenge bezeichnet, die einer gegebenen Luftmasse mitgetheilt werden mufs, um ihre Temperatur bei gleichem Volumen um 1° zu vermehren. Indem hierdurch das Volumen, die Temperatur und der Druck der Luft nach diesem Wärmeverluste die nämlichen sind, als vor der Ausdehnung derselben, so mufs die mitgetheilte Wärmemenge $= N$ der verlornen gleich seyn, und es ist also $N = a(\omega + n)$, woraus $\frac{N}{an} = 1 + \frac{\omega}{n}$ wird, und es ist also $\frac{N}{an}$ das Verhältnifs der beiden specifischen Wärmecapacitäten der Luft bei der Temperatur t, der einen unter einem constanten Drucke, der andern bei constantem Volumen, wonach also, $1 + \frac{\omega}{n} = k$ gesetzt, die Formel die einfache Gestalt $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$ erhält. Poisson bemerkt ferner ganz richtig, dafs der Werth von k auch aus den Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles zu finden sey. Die Werthe von g, von h und von D sind nämlich so genau bestimmt, dafs sie keine merklichen Fehler zulassen. Ist dann die Schallgeschwindigkeit durch hinlänglich genaue Versuche gefunden und der Werth von V für die jedesmalige Temperatur bestimmt, so ist $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$, woraus k gefunden wird. So erhält Poisson das uncorrigirte $V = 279{,}395$ Meter, die ersten Versuche der Pariser Akademiker wurden bei 6° Temperatur angestellt, und hiernach wäre theoretisch $V = 282{,}42$ Meter. Der Versuch gab 337,18 Meter, mithin ist $337{,}8 = 282{,}42 \sqrt{(1 + k)}$, woraus $k = 0{,}4254$ folgt. Allein dann ist k nichts weiter als ein constanter Factor, dessen Bestimmung auf keinem physikalischen Grunde beruht, er kann daher auch keineswegs, wie Poisson meint, dazu benutzt werden, um zu beweisen, dafs die Zusammendrückung der Luft um $\frac{1}{116}$ 1° C. Wärme aus-

Digitized by Google

scheide, da es noch nicht absolut erwiesen ist, dafs die Beschleunigung der Schallgeschwindigkeit auf diesem hypothetisch angenommenen Grunde beruhe[1].

Eine schätzbare, hier zu erwähnende Arbeit ist die Abhandlung, in welcher Moll[2] die oben bereits genannten, durch Parry und Foster zu Port Bowen veranstalteten Versuche für die Temperatur corrigirt und die hiernach gefundenen Resultate mit denen vergleicht, die aus der Theorie folgen. Die Formel, wonach er die theoretische Geschwindigkeit berechnet, ist die bekannte von Newton mit dem Zusatze des Coefficienten nach La Place, und hiernach erhält er für — 27°,62 C. Temperatur und den Factor $\sqrt{\frac{c'}{c}}$ nach Gay-Lussac und Welter genommen

$$V = \sqrt{\frac{g\,p}{D}} \times \sqrt{\frac{c'}{c}}$$

$$= \sqrt{9{,}82827 \times 10441{,}55 \times 0{,}76 \times 0{,}896425} \times \sqrt{1{,}3748},$$

welches 310,0305696 Meter oder 1017,72 engl. Fufs giebt.

Die Beobachtung gab aber	315,426 M. =	1035,19 e. F.
Die theoretische Berechnung	310,031 — =	1017,72 —
Unterschied	5,395 M. =	17,47 e. F.

1 Die nämliche Darstellung giebt auch W. Herschel in Encyclop. Metrop. Art. Sound. Aus der Geschwindigkeit des Schalles findet er $1 + k = 1{,}4132$ und von den verschiedenen Versuchen, diesen Factor zu bestimmen, erwähnt er blofs die von Clement und Desormes. Beiläufig bemerke ich zugleich, dafs Ivory, dessen ausführliche Untersuchungen über diesen Gegenstand bereits oben Bd. III. S. 1058. erwähnt worden sind, vermittelst einer durch Poisson in Conn. des Tems 1826. aufgestellten Gleichung aus La Place's Hypothese den Werth von $k = \frac{4}{3}$ theoretisch bestimmt. Hiernach wird aber V = 1058 e. F., statt dafs die letzten Versuche der französ. Akademiker 1085 geben, welcher Unterschied als Beobachtungsfehler gelten soll. Es scheint mir überflüssig, die hier angegebenen Bestimmungen auch in englischem Fufsmafs und in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers auszudrücken, da gegenwärtig sehr allgemein nach Metern und Centesimalgraden gemessen wird und sonstige Mafse hierauf leicht reducirt werden können. Eine vollständige Reduction auf englisches Fufsmafs und Fahrenheit'sche Grade von Galbraith findet man in Philos. Magazine and Journal etc. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. und in Philos. Magaz. or Annals of Phil. T. I. p. 336. Er folgt hierbei hauptsächlich den Ansichten Ivory's.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97.

Digitized by Google

Für diejenigen Versuche, die am 17. und 21. Februar 1825 bei —27°,75 F. oder —33°,2 C. angestellt worden waren, ist

$$V = \sqrt{9,82827} \times 10441,55 \times 0,76 \times 0,8755 \times \sqrt{1,3784}.$$

Dieses giebt die theoretisch berechnete Geschwindigkeit	=	306,39072 Meter
der Versuch gab		312,249446 —
	Unterschied	5,858726 Meter.

Die Versuche am 22. März und 3. Juni bei verhältnifsmäfsig höherer Temperatur, auf gleiche Weise theoretisch bestimmt, geben		318,488009 Meter
durch Versuche waren gefunden		323,741284 —
	Unterschied	5,253275 Meter.

Die Unterschiede sind einander so nahe kommend, dafs dieses als ein Hauptargument für die Genauigkeit der Versuche dienen kann. Die mittlere Differenz aus allen beträgt 5,395 Meter oder 17,47 Fufs. Bei diesen Versuchen wurde das Hygrometer nicht beobachtet, indefs zeigt Moll durch eine genaue Berechnung, dafs unter der Voraussetzung einer vollkommenen Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit hieraus keine gröfsere Differenz als für die kälteste Temperatur von 0,04141 Meter, für die mittlere von 0,0623921 M. und für die wärmste von 0,1568 Meter erwachsen würde, solche unbedeutende Gröfsen, dafs sie keine eigentliche Berücksichtigung verdienen. Eine Vergleichung der theoretisch berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit bei den Versuchen der holländischen Physiker giebt für die eine Reihe vom 27. Juni 1823 einen Unterschied von 4,92 Meter oder 16,147 engl. Fufs, für die zweite Reihe vom 28. Juni 4,24 Meter oder 13,916 Fufs, beide sehr genau übereinstimmend, aber von denen der englischen Reisenden verschieden, und zwar im Mittel von 0,815 Meter oder 2,44 engl. Fufs. Moll meint, dafs die Ursache hiervon in einer Unsicherheit der Gröfsen liege, die man für so niedrige Temperaturen unter hohen nördlichen Breiten bei der Berechnung in Anwendung bringt, wie auch La Place schon angedeutet habe, allein mir scheint dieselbe bei der genauen Uebereinstimmung der englischen sowohl als auch der holländischen Resultate unter sich vielmehr

Digitized by Google

in einem constanten Beobachtungsfehler zu liegen, vielleicht in einer durch die starke Kälte etwas geschwächten augenblicklichen Wahrnehmung.

Die neueste Bearbeitung dieses Problems ist von Dülong[1], welcher sich der Schallschwingungen bedient hat, um die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Gasarten aufzufinden. Man darf sich indefs durch die Resultate seiner allerdings schätzbaren Versuche nicht täuschen und zu der Ansicht verleiten lassen, als sey dadurch rücksichtlich der eigentlich vorliegenden Frage etwas entschieden, welches keineswegs der Fall ist, da vielmehr der zu beweisende Satz als bereits ausgemacht vorausgesetzt wird[2], nämlich dafs das Quadrat der wirklichen Schallgeschwindigkeit dividirt durch die Newton'sche theoretische Formel dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter beständigem Drucke und bei unverändertem Volumen gleich ist, oder nach einem analytischen Ausdrucke

$$k = \frac{V^2}{\frac{gh}{D}(1 + 0{,}00375 \cdot t)} .$$

Dülong bestimmt jedoch unter dieser Voraussetzung die mittlere Schallgeschwindigkeit zu 333 Meter bei 0° Temperatur und findet hieraus $k = 1{,}421$. Simons[3] berechnet nach diesem Werthe von k die sämmtlichen Resultate der Versuche, die durch die holländischen Physiker, namentlich Moll und van Beek mit gröfster Genauigkeit angestellt wurden, und da diese nach seiner Berechnung als mittlere Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C. und in trockner Luft 332,244 Meter geben, statt dafs Moll nach seiner oben mitgetheilten Angabe 332,05 gefunden hat, Dülong aber 333 Meter annimmt, so mufs hieraus eine Differenz hervorgehn. Dieses zeigt sich auch bei genauerer Untersuchung; denn die Summe der Unterschiede, um welche die nach Dülong's Bestimmung berechneten Werthe gröfser sind, als die aus den Versuchen erhaltenen (in

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLI. p. 331.

2 Nous admettrons donc, comme un principe démontré, que u. s. w.

3 Philos. Trans. 1830. p. 209. Daraus in Poggendorff's Ann. XIX. 115.

Digitized by Google

der Tabelle die negativen Differenzen), beträgt 28,253 Meter, die Summe der Unterschiede, um welche sie kleiner sind, 9,361 Meter, welche Gröfsen addirt einen Ueberschufs von 18,892 Metern, also auf alle 28 Beobachtungen vertheilt genau übereinstimmend von 0,6747 Metern geben. Aus den Versuchen selbst erhält Simons den Werth von $k = 1{,}4152$, wobei sich dann allerdings die positiven und negativen Differenzen, deren gröfste 6,154 Meter beträgt, bis auf eine verschwindende Gröfse aufheben.

72) Aus der bisher mitgetheilten Darstellung geht hervor, dafs die durch La Place aufgestellte Hypothese den ungetheilten Beifall fast aller Physiker gefunden hat, jedoch steht dieselbe isolirt da und es giebt keine ähnliche Erscheinung, wodurch sie unterstützt wird; denn die Entbindung der Wärme durch mechanische Compression kann hierfür nicht direct benutzt werden, weil hierdurch gleichzeitig die Luft in gleichem Mafse dichter, also im Verhältnifs zum Quecksilber schwerer wird, welches die gefundene Schallgeschwindigkeit wieder vermindert. Auf jeden Fall ist die durch die Schallwellen vermeintlich ausgeschiedene Wärme durch gewöhnliche Thermometer und selbst durch die feinsten Mikrocalorimeter nicht mefsbar; wenn aber Beobachter beim Knalle heftiger Explosionen durch ihr Gefühl Wärme wahrgenommen zu haben glauben, so bleibt es fraglich, ob nicht die gleichzeitige starke, auch auf gröfsere Entfernungen fortgepflanzte Luftcompression oder der gewaltsame Eindruck auf die Gehörnerven diese vermeintliche Empfindung erzeugt habe[1]. Biot[2] glaubt jedoch einen unwiderleglichen Beweis einer wirklich statt findenden Wärmeentbindung durch die Schallwellen aufgefunden zu haben. Eine in einem mit Dämpfen gefüllten Ballon aufgehangene tönende Glocke wird gehört, und hierin liegt der Beweis, dafs die Dämpfe den Schall fortpflanzen. In Gemäfsheit dieser Thatsache argumentirt er auf folgende Weise. Wenn der Raum, welcher Dämpfe einschliefst, vermindert wird, so geht durch diese Raumverminderung ein Theil der

1 Nach den Versuchen von Wrede und Tralles in G. XVIII. 402.

2 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Vergl. Traité. T. II. p. 24. G. XXXIII. 237.

Digitized by Google

Dämpfe zur Gestalt einer tropfbaren Flüssigkeit über, ohne dafs der Rest an Elasticität gewinnt. Die Vibrationen des schallenden Körpers drücken die berührenden Theile des Dampfes zusammen, es müfste hier also ein leerer Raum entstehn, durch welchen der Schall nicht fortgeleitet werden könnte, wenn nicht die ausgeschiedene Wärme eine neue Expansion bewirkte und dadurch die factisch erwiesene Schallfortpflanzung möglich machte. Also ist der Einfluſs der Wärmeentbindung in diesem Falle unwidersprechlich erwiesen [1].

Wie ein so scharfsinniger Gelehrter dieses Argument aufstellen konnte, ist mir oft in der Art unbegreiflich gewesen, dafs ich die Sache unrichtig verstanden zu haben glaubte, obgleich es mir unmöglich war, bei gröfster Anstrengung einen andern Sinn, als den angegebenen, in den Worten zu finden; die französischen Gelehrten haben sich zwar wenig oder nie auf diesen vermeintlichen Beweis berufen, dafs er jedoch von keiner Seite einen Widerspruch gefunden, scheint mir bloſs aus der hohen Achtung erklärlich, womit die unschätzbaren Verdienste des grofsen französischen Geometers La Place anerkannt wurden, und die es daher verhinderte, sich gegen irgend etwas zu erklären, was die Ansichten desselben zu unterstützen schien. Die gänzliche Unhaltbarkeit des aufgestellten Satzes läfst sich jedoch leicht zeigen. Wenn nämlich die tönende Glocke eine Schwingung macht, so drückt der nach aufsen gebogene Theil derselben allerdings die berührenden Dampfpartikeln zusammen, sofern sie nicht ausweichen, aber doch sicher nicht weiter, als bis wohin er mit denselben in Berührung bleibt. Gesetzt es würde durch diese Compression Wasser ausgeschieden, so bliebe der schwingende Theil der Glocke mit diesem und durch dasselbe mit den Dampfpartikeln in Berührung, es ist also stets ein die Schwingungen der Glocke aufnehmender und fortleitender Körper vorhanden, und auf keine Weise kann ein leerer Raum existiren, der dessen Fortpflanzung zu hindern vermöchte. Kaum halte ich für nöthig, auch auf den Rückgang der Schwingung Rücksicht zu nehmen; denn entstände hierdurch ein leerer Raum, so müfste das Nämliche auch bei der Luft statt finden,

1 Par conséquent, l'influence du développement de la chaleur dans ce phénomène est incontestable.

Digitized by Google

die gleichfalls durch die ausbiegende Schwingung, so gut als der Dampf, zurückgedrückt wird, und es könnte sonach in gasförmigen Medien überall keine Schallfortpflanzung statt finden. Die Sache ist in der That viel zu klar, als dafs ich diese Betrachtungen noch weiter auf die Wellen ausdehnen sollte, die durch tönende Körper in gasförmigen Flüssigkeiten erzeugt werden, ohne dafs wir nöthig haben, uns die letztern als so fest und unbeweglich ruhend vorzustellen, dafs eine ausbeugende Schwingung in ihnen eine solche Zusammendrückung bewirken könnte, wie Biot sie annehmen will.

La Place's Hypothese ist von wenigen Gelehrten angefochten worden. Wrede[1] findet in ihr einen logischen Widerspruch, indem die Ausscheidung der Wärme doch nur durch den mit seiner gegebenen Geschwindigkeit fortschreitenden Schall statt finden könne, und soll er also durch die hierdurch ausgeschiedene Wärme beschleunigt werden, so heifse dieses nichts anders, als er müsse erst mit seiner geringern Geschwindigkeit vorangehn, bevor die eigentliche gröfsere beginnen könne (da die Ursache doch früher als die Wirkung vorhanden seyn mufs)[2]. Prechtl[3] tritt dieser Ansicht bei und macht noch auf den wichtigen Umstand aufmerksam, dafs neben dem verdichteten Lufttheilchen ein gleichmäfsig verdünntes liege, welches in gleichem Mafse Wärme absorbire, als das verdichtete sie freilasse, wonach also diese entgegengesetzten Wirkungen sich nothwendig aufheben müssen. Benzenberg[4] findet einen Gegengrund in dem Umstande, dafs eine zu grofse Ausscheidung der Wärme erfordert werde, wenn man die wirkliche Beschleunigung des Schalles als durch diese verursacht betrachten wolle, und eine hierzu erforderliche Compression unmöglich statt finden könne. Meikle[5] glaubt, die Menge der freiwerdenden Wärme müsse der Stärke des Schalles proportional seyn und ein starker Schall daher schneller fortgepflanzt werden.

---

1 G. XVIII. 401.

2 Offenbar befindet sich das Luftelement, aus welchem die Wärme ausgeschieden ist, hinter der fortschreitenden Schallwelle und kann die ihr vorausgehende unmöglich beschleunigen.

3 G. XXI. 449.

4 G. XLII. 35.

5 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII. p. 100.

Digitized by Google

Alle diese Gründe scheinen mir jedoch minder wichtig zu seyn, als das Resultat der ausführlichen Untersuchungen, welche ich bereits bei einer andern Betrachtung angestellt habe[1]. Nach den Versuchen der französischen Gelehrten soll durch eine Zusammendrückung der Luft im Mittel um 0,010348 ihres Volumens 1° C. Wärme ausgeschieden werden, allein die Erscheinungen von aufsteigenden und hauptsächlich von herabstürzenden Luftmassen im Grofsen, wobei die Fehler der Experimente im Kleinen am wenigsten statt finden können, ergeben zur Evidenz, dafs eine so starke Wärmeentbindung ganz unstatthaft ist. Der kleinste Werth unter allen ist der von Clement und Desormes gefundene = 0,01025, Dülong aber findet aus der Schallgeschwindigkeit gar nur 0,00374... oder $\frac{1}{267}$ für 1° C., was sich mit den erwähnten und sonstigen unbestreitbaren Phänomenen auf keine Weise vereinigen läfst.

Die erwähnten Argumente sind so wichtig und so sehr auf anerkannte Thatsachen gegründet, dafs wahrscheinlich blofs die hohe Achtung gegen den berühmten Urheber dieser Hypothese, dessen unsterblicher Ruhm durch den Untergang derselben auf keine Weise beeinträchtigt werden kann, die Physiker bewogen hat, sie fast gänzlich unbeachtet zu lassen. Wie sehr sie aber eine nähere Würdigung verdienen, zeigt folgende Betrachtung, aus welcher nach meiner Ansicht die gänzliche Unhaltbarkeit der genannten Hypothese unwidersprechlich hervorgeht. Wir dürfen es nämlich als ein nicht zu bezweifelndes Axiom ansehn, was ohnehin bis jetzt von allen Physikern bei ihren Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft ausdrücklich wiederholt und von keinem nur im mindesten bezweifelt worden ist, dafs die den Ton in Pfeifen erzeugenden Schallwellen namentlich rücksichtlich ihrer Geschwindigkeit und des in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Raums mit denen identisch sind, durch welche der Schall fortgepflanzt wird[2], denn hierauf beruht die Bestimmung der Längen der Pfeifen, die eine gewisse Tonhöhe geben (s. §. 39). Hieraus folgt aber nothwendig, dafs diese Schallwellen ihre Geschwindigkeit, die gleichfalls gröfser seyn mufs, als aus der Theorie nach den gleichen Bedingungen,

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1046 bis 1063; vorzüglich S. 1052.
2 Vergl. Weber Wellenlehre S. 638.

Digitized by Google

welche die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung geben, folgen würde, durch die nämliche Ursache erhalten, welche bei denjenigen Wellen angenommen wird, die den Schall fortleiten. Ein zweites auf gleiche Weise unwidersprechliches Axiom ist, dafs die sämmtlichen den longitudinalen Schwingungen zugehörigen Schallwellen in einem Fortschreiten durch Verdichtung und in einem Rückgange durch Verdünnung bestehn (§. 38). Wollte man diesen Satz der fraglichen Hypothese wegen in Zweifel ziehn, so müfste man alle die Erscheinungen in Abrede stellen, die das Verhalten des Sandes bei der Erzeugung der Längenvibrationen bei Röhren und Scheiben augenscheinlich zeigt, und würde sich in unlösliche Widersprüche bei der Erklärung derjenigen Luftvibrationen verwickeln, die durch die Zungen (elastische Bleche) in tönenden Röhren erzeugt werden, da diese schwingenden festen Körper auf gleiche Weise bei ihrem Rückgange eine verdünnende Welle erzeugen müssen, als sie bei ihrem Vorgange[1] eine verdichtende Welle hervorbrachten. Dieser Satz geht aufserdem mit unwidersprechlicher Gewifsheit aus demjenigen hervor, was §. 47. bis §. 50. über die Stöfse, und namentlich das Zusammenfallen der positiven und negativen Wellen, die sich aufheben und keinen Stofs geben, nachgewiesen worden ist, wie nicht minder am auffallendsten aus dem Bernoulli'schen Satze, dafs die Wellen der Luftsäule in einer an beiden Enden offenen Röhre einander entgegengesetzt sind, wie Wheatstone §. 37. c. obendrein factisch nachgewiesen hat. Das dritte Axiom, dessen ich zur Begründung des folgenden Arguments bedarf, ist, dafs durch die Zusammendrückung der Luft ebensoviel Wärme ausgeschieden, als durch eine gleich starke Ausdehnung gebunden wird, ein Satz, den noch kein Physiker in Zweifel gezogen hat, indem vielmehr die Versuche der französischen Physiker, wodurch sie die Menge der frei werdenden Wärme auszumitteln suchten, theils durch Verdichtung, theils durch Verdünnung einer eingeschlossenen Luftmasse angestellt wurden.

Sind diese drei Sätze als wohlbegründet zu betrachten, so folgt unwidersprechlich, dafs die Länge einer Schallwelle in

1 Dieser ungewöhnliche Ausdruck wird hier im Zusammenhange keine Mifsdeutung veranlassen.

Digitized by Google

einer tönenden Pfeife oder die Länge des Raumes zwischen zwei Schwingungsknoten gleichfalls durch den Einfluſs der ausgeschiedenen Wärme bedingt wird, und daſs somit, wenn ihre durch Erfahrung gegebene Geschwindigkeit = v', die theoretisch berechnete aber = v genannt wird,

$$v' = v\sqrt{1+k}$$

seyn müsse. Ist aber k eine Function der durch Compression ausgeschiedenen Wärme, so muſs für die rückgehende Welle

$$v'' = v\sqrt{1-k}$$

seyn. Hiernach erhalten wir

$$v' : v'' = \sqrt{1+k} : \sqrt{1-k}$$

und für k den durch Dülong gefundenen numerischen Werth substituirt

$$v' : v'' = 1{,}192 : 0{,}76092 = 1{,}5666 : 1,$$

wonach aber die Summe der fortschreitenden Wellen gis und die der rückgehenden c geben würde und die Entstehung eines reinen oder gleichmäſsigen Tones ganz unmöglich wäre.

73) Sind die angeführten Argumente gültig, so herrscht über das so vielfach untersuchte Problem der Schallfortpflanzung noch die nämliche Ungewiſsheit, als vor der Auskunft, die La Place's Hypothese darüber zu geben schien, und nach so vielen vergeblichen Versuchen der gröſsten Geometer und Physiker, dieses Problem zu lösen, kann es allerdings ein gewagtes Unternehmen zu seyn scheinen, abermals die Lösung desselben nur einmal zu versuchen. So sehr ich dieses fühle, so halte ich mich dennoch für verpflichtet, meine Ansicht dieser Sache der Prüfung Sachverständiger anheimzustellen.

Vor allen Dingen muſs man sich den Ursprung der Schallwellen in der tönenden Luftsäule genau vorstellbar machen. Wellen entstehn in jeder Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung irgend ein Hinderniſs zu überwinden hat, wie man dieses beim flieſsenden Wasser deutlich bemerkt. Dieser im ganzen Gebiete der Physik höchst fruchtbare, bei weitem nicht hinreichend gewürdigte Satz kommt in Beziehung auf die Schallwellen zunächst insofern in Betrachtung, als die ruhende Luftsäule in den Pfeifen oft durch einen gegen eine scharfe Kante der Embouchüre stoſsenden, aus einer engen Mündung strömenden oder auf sonstige Weise in einzelnen Pulsus, also bereits wellenartig flieſsenden Luftstrom in Wellenschwingungen versetzt wird. Zur leichtern Uebersicht möge hier aber

Digitized by Google

nur der einfachere Fall betrachtet werden, wenn die Schwingungen eines vibrirenden Bleches die Wellen einer als ruhend angenommenen Luftsäule erregen. Es sey also A B die ruhende Luftsäule in der tönenden Pfeife, a b das ruhende Blech, die Zunge. Kommt dieses durch irgend eine Ursache in die Lage a' b und dann durch seine Schwingung in die Lage α b, so stöfst es gegen die Luftsäule, die zunächst liegenden Theilchen werden fortgestofsen, sie treiben die nächstfolgenden vor sich hin und die Bewegung pflanzt sich bis auf eine vorerst noch unbestimmte Entfernung fort. Ist das Blech bis α b gelangt, so schnellt es rückwärts, bis es in die Lage a' b kommt; sogleich beim Beginnen dieser Bewegung entsteht hinter demselben eine Verdünnung, die Welle läuft aus gleichen Gründen rückwärts, als welche unmittelbar vorher ihr Fortschreiten durch Verdichtung bewirkten, und die demnächst fortdauernde, den Ton erzeugende wechselnde Wellenbewegung ist gegeben. Die Zeitdauer einer Oscillation des Blechs bedingt die Zeitdauer des Fortganges und Rückganges einer Welle der Luft im Rohre, letztere kann daher nur eine gewisse Länge (in Beziehung auf die Axe der Röhre, sonst Breite) erhalten, wodurch also die Zeitdauer derselben und somit auch die Tonhöhe gegeben ist; denn das Element des Querschnittes der vibrirenden Luftsäule, in welchem die vor- und zurücklaufende Bewegung sich treffen, bildet den Schwingungsknoten. Die Geschwindigkeit, womit sowohl die tongebende als auch die schallleitende Welle sich bewegt, ist eine Function der in der Newton'schen Formel enthaltenen Gröfsen, und es müfste also die theoretische Schallgeschwindigkeit mit der durch Erfahrung gefundenen übereinstimmen; allein dieses ist unmöglich, denn die Gröfsen in dieser Formel sind für den Zustand der Ruhe genommen, ohne die Veränderung zu berücksichtigen, die durch die Bewegung hinzukommt. Heifst demnach V die theoretisch berechnete Geschwindigkeit, so ist $V = f(z)$, wenn z das Product aus der Elasticität und Fluidität der Luft, die man als die Bedingungen der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit betrachtet, sowie sie sich im Zustande der Ruhe befindet, bezeichnet. Durch den Stofs des schwingenden Körpers oder der bereits erzeugten Luftwelle entsteht jedoch eine Verdichtung, mithin eine Vermehrung der Elasticität und der hierdurch bedingten Ge-

Fig. 159.

Digitized by Google

schwindigkeit der Bewegung[1], und es wird sonach $f(z)$ in $f(z+dz)$ verwandelt, weil sowohl die eigentliche Geschwindigkeit, als auch deren Vermehrung von den nämlichen Bedingungen abhängen. Diesemnach ist also $dz = \frac{1}{n} z$, und es fragt sich, wie grofs n anzunehmen sey. Um dieses zu bestimmen, mufs man berücksichtigen, dafs das gestofsene Element dem stofsenden vermöge seiner Elasticität und Fluidität, deren Product eben $= f(z)$ ist, Widerstand leistet. Letzterer mufs überwunden werden, und da nach Newton *reactio aequalis actioni* ist, so mufs die Kraft im stofsenden Elemente so lange wachsen, bis sie zu dieser Ueberwindung fähig ist, zugleich aber kann diese Vermehrung nicht über diese Gröfse hinausgehn. Diesemnach kann also dz weder gröfser noch kleiner seyn, als z, und n ist $= 1$. Das stofsende Luftelement, dessen Kraft bis zur Gröfse $z + dz$ gewachsen ist, mufs beim Rückgange der bewegenden Ursache mit gleicher Kraft zurückgehn (was ohnehin schon aus den Gesetzen der Pendelschwingungen folgt), und die Geschwindigkeiten der vor- und rückgehenden Wellen sind also einander ganz gleich. Hieraus folgt also nothwendig, dafs mit Beibehaltung der §. 70. gewählten Bezeichnung die theoretisch bestimmte Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{\left(\frac{2g}{\delta} B \sqrt{2}\right)}$$

seyn müsse. Ist dieses gültig für 0° C. Temperatur und einen gewissen Werth der unter dem ersten Wurzelzeichen enthaltenen Gröfsen, so mufs es auch nach den vorhergehenden Betrachtungen für alle andere Fälle gültig seyn, da zur Prüfung und Vergleichung der durch Beobachtung gefundenen Werthe diese insgesammt auf diese Normalgröfse reducirt werden. Es ist demnach in metrischem Mafse

---

1 Zu gröfserer Deutlichkeit läfst sich sagen: das Element der Luftsäule, worin die erste den Schall erzeugende oder fortpflanzende Welle gebildet wird, kann dem Begriffe nach in seinem Zustande nicht verharren, wenn die Welle entstehn soll, sondern mufs eine Verdichtung oder Verdünnung erleiden (beides im Erfolge gleich). Es fragt sich also nur, wie grofs diese Veränderung und die hiernach in der veränderten Luft statt findende Schallgeschwindigkeit ist.

Digitized by Google

$2g = 9{,}8058$, log. $= 0{,}9914826$
$B = 0{,}76$, log. $= 0{,}8808136 - 1$
$\delta' = 10466{,}8$, log. $= 4{,}0198139$
$\sqrt{2}$, log. $= 0{,}1505150$

log. $V^2 = 5{,}0426251$
:2

log. $V = 2{,}5213125$, giebt 332,133.. Meter,

und in Pariser Fufsmafse

$2g = 30{,}186$, log. $= 1{,}4798138$
$B = 2{,}3396$, log. $= 0{,}3691449$
$\delta' = 10466{,}8$, log. $= 4{,}0198139$
$\sqrt{2}$, log. $= 0{,}1505150$

log. $V^2 = 6{,}0192876$
:2

log. $V = 3{,}0096438$, giebt 1022,45.. Fufs,

log. $\frac{144}{443{,}296} = 0{,}5116687 - 1$

log. $V = 2{,}5213125$, giebt 332,133 Meter.

Nach Moll beträgt die durch Versuche gefundene Schallgeschwindigkeit bei 0° C. Temperatur und in trockner Luft, wie oben §. 67. erwähnt worden ist, im Mittel aus allen Versuchen 332,05 Meter in einer Secunde, nach der Berechnung von Simons unter gleichen Bedingungen §. 71. gleichfalls im Mittel 332,244 Meter; das arithmetische Mittel aus beiden beträgt 332,147 M. Die theoretisch gefundene Schallgeschwindigkeit 332,133 M.

Unterschied 0,014 M.

Bei dieser unerwartet genauen und eigentlich vollkommenen Uebereinstimmung scheint mir die aus der Natur der Bewegungsgesetze elastischer Flüssigkeiten entnommene Hypothese zur Lösung des lange ventilirten Problems vollkommen hinzureichen[1].

1 La Place hat noch ein zweites allgemeines Theorem über die Fortpflanzung des Schalles sowohl in festen Körpern, als auch tropfbaren und expansibeln Flüssigkeiten aufgestellt, welches aus der Zusammendrückbarkeit der Körper entnommen ist und unten §. 89. zur nähern Untersuchung kommen wird. Dafs beide Theoreme dem Wesen nach identisch sind, hat bereits Trälles in G. LXV. 43.

Digitized by Google

c) Anderweitige Umstände, die bei der Fortpflanzung des Schalles durch atmosphärische Luft in Betrachtung kommen.

74) Dem Winde wird allgemein ein bedeutender Einfluſs auf den Schall beigemessen, welcher theils in einer Vermehrung seiner Geschwindigkeit, theils in einer Modification seiner Stärke bestehn soll. Berücksichtigen wir zuerst die Vermehrung seiner Geschwindigkeit, so pflegte man als naturgemäſse Folgerung zu betrachten, daſs der Schall sich um so viel geschwinder oder langsamer bewege, als die Geschwindigkeit des Windes betrage. Dieses wollten auch schon Derham und die Mitglieder der Pariser Akademie bei ihren ersten Versuchen[1] gefunden haben, nämlich daſs der Wind auf den Schall keinen Einfluſs habe, wenn beider Richtungen auf einander senkrecht seyen, dagegen beider Geschwindigkeiten addirt oder subtrahirt werden müſsten, wenn sie zusammenfielen oder einander entgegen wären. Gilbert[2] hat daher die schon von Derham[3] vorgeschlagene Methode, die Geschwindigkeit des Windes durch Schallversuche zu bestimmen, auf

---

gezeigt, auch kommen bei der wirklichen Berechnung bei beiden die nämlichen Gröſsen vor. Daſs dasselbe auch auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und Gasarten angewandt werden könne, behaupten La Place und Poisson ausdrücklich, indeſs hat man bloſs für feste Körper und tropfbare Flüssigkeiten bisher Gebrauch davon gemacht. Bei letztern bedarf man aber eines aus der ausgeschiedenen Wärme entnommenen Hülfsfactors nicht, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, ungeachtet die Compression, namentlich der festen Körper, auf gleiche Weise Wärmeentbindung zur Folge hat, als die Compression der Luft, und es streitet daher gegen die Consequenz im Urtheilen, wenn man diese Bedingung bei der einen Formel annehmen, bei der andern aber vernachlässigen wollte. Herapath in Quarterly Journ. of Science, Lit. and Art. New Ser. N. XIII. p. 167. führt gleichfalls den oben genannten Factor in die Formel ein, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, allein die Resultate über die Natur der Gasarten, aus denen er denselben folgert, sind bereits oben im Art. *Gas* Bd. IV. S. 1073. als unzulässig dargestellt worden; daſs aber seine Berechnung keine hinlänglich übereinstimmenden Gröſsen giebt, ist eine Folge zu geringer Genauigkeit der dabei benutzten Zahlenwerthe.

1 A. a. O.

2 G. XLIV. 209.

3 Phil. Trans. 1708. T. IX.

Digitized by Google

diejenigen Resultate angewandt, die die Pariser Akademiker bei ihren ersten Versuchen 1738 erhielten, allein hierbei war noch nicht auf die Temperatur Rücksicht genommen und daher ist das Ergebnifs ohne allen Werth. Goldingham glaubt gefunden zu haben, dafs ein starker Wind die Schallgeschwindigkeit um 9,3 par. Fufs in 1 Secunde vermehre, allein für eine solche Bestimmung sind seine Versuche keineswegs genügend. Galbraith[1] versucht den Einflufs des Windes aus den zu Port Bowen angestellten Versuchen aufzufinden, gesteht aber selbst, dafs die erhaltenen Resultate unsicher seyen, was er für eine Folge der Mangelhaftigkeit der Beobachtungen hält. Bei den oben §. 67. erzählten Versuchen am Sklavensee glaubte Kendal bei einer Temperatur von — 35°,8 eine durch den Wind bewirkte Beschleunigung von 17,3 Fufs zu bemerken, bei — 41° F. aber betrug dieselbe 15,1 Fufs; allein die oben mitgetheilte Berechnung ergiebt nichts von einem solchen Einflusse des Windes, denn die beiden Resultate sind keineswegs kleiner als die übrigen. Merkwürdig ist eine Aeufserung Nicholson's[2], dafs man glauben solle, die Geschwindigkeit des Schalles werde durch den Wind verändert, die Stärke desselben aber nicht; allein die Erfahrung zeige gerade das Gegentheil. Die neuesten, mit gröfster Sorgfalt angestellten Versuche über die Schallgeschwindigkeit geben in Beziehung auf den Einflufs des Windes keine Auskunft, und es bleibt daher auch die Frage unentschieden, ob man in dem Falle, wenn auf beiden Stationen geschossen und auch beobachtet wird, der Wind aber in der Richtung des Schalles weht, das arithmetische oder das geometrische Mittel nehmen müsse, um die eigentliche Geschwindigkeit des Schalles zu erhalten[3]. Delaroche[4] bemerkt schon, dafs es eine mifsliche Sache sey, die Geschwindigkeit des Windes zu der des Schalles zu addiren oder beide Gröfsen von einander abzuziehn, da die Schallwellen bei ihrer ungleich gröfseren Geschwindigkeit dem Winde bald vorauseilen müfsten, da letzterer schon sehr stark seyn müsse, wenn er 40 Fufs in 1 Se-

1 Philos. Magaz. or Ann. T. IV. p. 179.
2 Journ. of Nat. Philos. Nr. IX. G. III. 181.
3 S. Van Beek in Allgem. Konst en Letterbode. 1825. Nr. 19.
4 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176. G. LVIII. 138.

Digitized by Google

cunde durchlaufe. Von noch gröfserem Gewichte aber ist Arago's Bemerkung bei Gelegenheit der Prüfung dieser Frage nach den letzten Versuchen der Pariser Akademiker, dafs der Wind nicht stets gleichmäfsig, sondern stofsweise wehe und man daher nicht wissen könne, mit welcher von diesen Bewegungen die Schallfortpflanzung zusammenfalle.

Als Resultat aller dieser Betrachtungen geht hervor, dafs zur genügenden Entscheidung dieser Frage noch abermalige Versuche erfordert werden, die leider so ausnehmend umständlich und schwierig sind, dafs man sobald nicht auf deren Realisirung hoffen darf. Wenn man aber berücksichtigt, dafs bei allen den Versuchen, durch welche die Geschwindigkeit des Schalles mit gröfster Genauigkeit ausgemittelt wurde, sich gar kein Einfluſs des Windes zeigte, so dürfte man sich geneigt fühlen, diesen ganz zu bezweifeln. Dieses würde mit der Theorie übereinstimmen, wenn man annehmen müfste, dafs die den tönenden Körper nach allen Seiten umgebenden Schallwellen die Form, die sie einmal haben, allseitig beibehalten und unter andern nicht aus der Kreisform zur Gestalt der Ellipsen übergehn können; auf jeden Fall nämlich ist es eine falsche Ansicht, wenn man sich den Schall in einseitig gerader Richtung vom tönenden Körper zum Ohre des Hörenden fortgehend denkt, da er sich vielmehr in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung verbreitet und sich das Ohr nur in einem Puncte derselben befindet.

Die Frage über den Einfluſs des Windes auf die Stärke des Schalles ist kaum mit gleicher Aufmerksamkeit behandelt worden, als die eben erörterte, so allgemein man auch ohne nähere Prüfung anzunehmen pflegt, dafs der mit dem Winde sich bewegende Schall diesen bedeutend verstärke, so dafs er in dieser Richtung ungleich weiter gehört werde, als in der entgegengesetzten. Letzteres ist im Allgemeinen zwar richtig und mit der Erfahrung übereinstimmend, indem unter andern nach Meikle[1] das Auffliegen der Stobbs-Pulvermühle 1824 mit dem Winde auf 30 engl. Meilen Häuser erbeben machte, gegen den Wind aber auf 3 Meilen kaum gehört wurde; allein damit ist die Frage noch keineswegs vollständig beantwortet, indem diese rohen Beobachtungen über das Mafs und die Stärke

1 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII. p. 105.

dieser Abnahme durchaus keine Auskunft geben. Eigentliche Versuche zur Entscheidung dieses Problems sind überall kaum vorhanden, indem man sich ganz gegen die sonstige Gewohnheit der physikalischen Forschungen bisher meistens mit den erwähnten allgemeinen Bestimmungen begnügte. Die ersten mir bekannt gewordenen Versuche sind von Haldat[1] zu Nancy angestellt worden. Er bediente sich hierzu einer kleinen Glocke, die im Freien noch auf 150 Meter gehört werden konnte, stellte verschiedene Personen abwechselnd so, dafs die Richtungen des Windes mit der des Schalles wechselnde Winkel bildeten, und suchte aus den gröfsten Entfernungen, in denen der Schall gehört wurde, den gesuchten Einfluſs auszumitteln. Um die Geschwindigkeit des Windes zu finden, wurde mit einer Secundenuhr die Zeit gemessen, welche leichte, in der Luft schwebende Körper gebrauchten, um eine bekannte Entfernung zu durchlaufen; die gemessenen Geschwindigkeiten liegen jedoch zwischen 1,5 und 2 Meter in 1 Secunde, geben daher keine umfassende Vergleichung, und aufserdem sind die Unterschiede der Resultate sehr bedeutend, was Haldat hauptsächlich vom Einflusse des Windstofses gegen das Ohr ableitet, was aber ohne Zweifel auch, mindestens zum Theil, eine Folge der intermittirenden und oft wechselnden Geschwindigkeiten des Windes ist. In genäherten Werthen verhielt sich die Entfernung, bis zu welcher der Schall über dem Winde gehört wurde, zu der, wohin er unter dem Winde gelangte, wie 1 zu 2 oder auch wie 1 zu 3, ebenso stark war das Verhältnifs bei diagonaler Richtung des Windes gegen die des Schalles, bei lothrechter aber zeigte sich gar kein Unterschied.

Genauer und umfassender sind die spätern Versuche von Delaroche[2] und Dünal. Sie wählten dazu zwei Uhrglocken von gleicher Stärke, die mit gleichen Hämmern gleich stark angeschlagen wurden, liefsen sie von Gehülfen so halten und anschlagen, dafs die sie verbindende Linie mit der Windrichtung verschiedene Winkel bildete, stellten sich dann zwischen dieselben in einer solchen ungleichen Entfernung, dafs der Schall beider einander gleich wurde, ein von der Photo-

1 Journ. de Phys. LXXIX. 235.
2 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176.

Digitized by Google

metrie entlehntes Verfahren. Die Versuche wurden mehrmals wiederholt, mit verschiedenen Glocken und wechselnder Entfernung derselben von einander, auch dauerte jede Beobachtung so lange, dafs sie von der Gleichheit des Schalles beider überzeugt waren. Die Resultate, die auf diese Weise erhalten wurden, sind in der That überraschend. In der Nähe hat der Wind auf die Stärke des Schalles gar keinen Einfluss, wenn z. B. der Abstand etwa 6 Meter nicht übersteigt. Dagegen zeigt sich derselbe sehr bedeutend, sobald die Entfernung gröfser wird, und wächst mit der Zunahme von dieser, jedoch so, dafs ein entgegenwehender Wind die Fortpflanzung des Schalles ausnehmend hindert, ein in seiner Richtung liegender aber sie gar nicht befördert, denn bei ruhiger Luft, oder wenn der Wind lothrecht auf die Richtung des Schalles stöfst, geht derselbe weiter, als mit dem Winde. Versuche hierüber werden noch durch den Umstand erschwert, dafs unbekannte Ursachen zuweilen die Stärke des Schalles ausnehmend vermindern, indem Delaroche einige Male von zwei ungleich entfernten Glocken abwechselnd blofs die eine überhaupt oder beide mit sehr verschiedener Stärke hörte.

Würde erfordert, über das hier beschriebene Verhalten eine Erklärung aufzustellen, um sie mit anderweitigen Naturgesetzen in Einklang zu bringen, so möchte ich sagen, das Widersprechende liegt blofs in der falschen Vorstellung, die man sich vom Winde macht, wenn man sich ihn blofs als ein ruhiges Fortfliefsen der Luft denkt. Indem vielmehr jede Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung Hindernisse zu überwinden hat, sich wellenförmig bewegt, so folgt dieses auch als nothwendig bei der Luftbewegung im Winde. Die hiernach also statt findenden Luftwellen, als die gröberen und langsameren, können daher die ungleich feineren und schnelleren des Schalles auf keine Weise befördern, weil sie durch die letzteren, auch wenn sie in der nämlichen Bahn liegen, gleichsam durchsetzt werden, die ihnen stets vorauseilen; kommen beide aber einander entgegen, so kann dieses auf eine kurze Strecke gar keinen oder keinen merklichen Einfluss haben, wohl aber auf einer längeren, wo zufällig mehrmals die Wellenberge und Wellenthäler beider zusammenfallen und sich ausgleichen oder schwächen müssen.

Digitized by Google

Englefield[1] gelangte durch seine im Jahr 1773 zu Brüssel beim Läuten der grofsen Glocke der St. Gudula-Kirche angestellten Versuche zu dem Resultate, dafs die Vibrationen eines so stark tönenden Körpers ein Sinken des Barometers um etwa 0,006 Zoll verursacht haben. Thom. Young leitet diese Wirkung von den mechanischen Luftbewegungen ab, die durch die Glocke in gröfserer Stärke beim Tönen erzeugt worden seyn könnten, als vorher bei ihren Schwingungen mit festgeklemmtem Klöpfel. Benzenberg[2] hat durch seine absichtlich angestellten Versuche zur Evidenz dargethan, dafs der Schall an sich und in Folge der durch ihn bewirkten Modification der Luft keinen Einfluſs auf das Barometer äufsere, die oft sich zeigenden Schwankungen aber eine Folge der Erschütterungen sind, die den Thürmen durch die schweren Glocken mitgetheilt werden.

75) Die Dichtigkeit der Luft hat einen grofsen Einfluſs auf die Fortpflanzung des Schalles, indem seine Geschwindigkeit zwar mit der Verdünnung der Luft zunimmt, seine Intensität oder Stärke aber abnimmt. Der Schall ist demnach am stärksten bei hohem Barometerstande, bei heiterer, dampf- und dunstfreier Luft und bei niedriger Temperatur. Zahlreiche Erfahrungen bestätigen diese aus der Theorie folgenden Sätze. Vorzügliche Gelegenheit zu Beobachtungen dieser Art hatte von Zach[3] auf der isolirt und hoch liegenden Sternwarte Seeberg, und er bemerkte daher, dafs bei heiterer, ruhiger und nicht feuchter Luft, wenn die Sterne mit gleichmäfsiger, nicht schwankender Bewegung durch das Feld seines Passagen-Instruments gingen, die Glocken der umliegenden Kirchthürme, das Geräusch der Mühlen, das Bellen der Hunde und Rufen der Nachtwächter ausnehmend deutlich und stark gehört wurden, statt dafs alle diese gar nicht oder nur dumpf wahrnehmbar waren, wenn die Sterne zitterten. Ein sehr auffallendes Beispiel der Stärke, womit der Schall bei hohen Kältegraden fortgepflanzt wird, liefert die Beobachtung von

1 Aus Journal of the Royal Institution. T. I. in Gilb. XIV. 214.

2 G. XXXIX. 129.

3 Allgem. geogr. Ephemer. 1798. Th. I. S. 499. Daraus in G. LVIII. 158.

Digitized by Google

Foster[1], welcher sich zu Port Bowen bei — 18° F. (— 28° C.) Temperatur mit einem 6696 engl. Fufs entfernten Manne sehr gut unterhalten konnte, wobei jedoch die in jenen öden Gegenden herrschende Stille sicher nicht ohne Einfluſs war. Zusammenhängend hiermit ist die Beobachtung von Hawksbee[2], daſs der Schall eines Weckers unter dem Recipienten so viel schwächer wurde, je stärker er exantlirte, und die interessante von John Roebuck[3] im Gebläsekasten des Hochofens zu Devonshire, daſs der Schall in der verdichteten Luft so ausnehmend verstärkt wurde. De Saussure[4] beobachtete auf dem Mont-Blanc, daſs eine abgeschossene Pistole nicht stärker tönte, als ein kleines Taschen-Terzerol in der Ebene. Andere Beobachtungen auf hohen Bergen stimmen hiermit vollkommen überein. Um so merkwürdiger ist das starke Getöse, welches Feuerkugeln erzeugen, die im Verhältniſs zu den genannten Erscheinungen in wahrhaft unermeſslichen Höhen explodiren. Der Schall, welchen das 1719 in 69 engl. Meilen Höhe nach Halley's[5] Messung zerplatzende Meteor erzeugte, glich dem einer Kanone von schwerem Kaliber, machte Thüren und Fenster zittern, so daſs ein Fernrohr auf der Sternwarte zu Greenwich aus seiner Nische stürzte und zerbrach; ein anderes Meteor 1783 wurde als ein tief dröhnender Donner gehört, obgleich seine Höhe nach Blagden[6] volle 50 engl. Meilen betrug, und ebenso stark war der Schall bei dem Meteore am 17. Juli 1771 zu Paris, dessen Höhe Le Roy[7] auf 20598 Toisen oder ungefähr 25 engl. Meilen berechnet. Mehrere ähnliche Beispiele lieſsen sich von andern Feuerkugeln anführen, wenn ihre Höhe wegen des unerwarteten Erscheinens nicht meistens unbekannt wäre.

76) Daſs der Schall bei Nacht ungleich stärker sey, als am Tage, ist eine sehr gemeine Erfahrung, und man pflegt

1 Journ. of a third Voyage for the discovery of a North-West passage cet. under the Orders of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. 4. p. 58.

2 Phil. Trans. 1705.

3 Edinb. Phil. Trans. T. V. p. 34. G. IX. 45.

4 Voyage dans les Alpes. T. VII. p. 337. §. 2020.

5 Phil. Trans. T. XXX. p. 978.

6 Philos. Trans. 1784.

7 Mém. de l'Acad. 1771. p. 668.

Digitized by Google

eben deswegen die feineren Schallversuche bei Nacht anzustellen. Auffallend zeigt sich dieses bei den Fufstritten gehender Personen, hauptsächlich aber beim Nagen der Mäuse, was bei Nacht ein auffallendes Getöse erregt, wenn es bei Tage auch nicht bedeutend stark zu seyn scheint. Nicholson[1] führt als Beispiel an, dafs man auf der Westminsterbrücke die Stimmen der Arbeiter in der 3 engl. Meilen entfernten Fabrik zu Battersea und das Rufen der Schildwachen von Portsmouth 4 bis 5 engl. Meilen weit zu Ride auf der Insel Wight bei Nacht deutlich höre. Einige Beobachtungen, die er über das Schlagen einer Uhr während der Nacht bei völliger Stille oder beim gleichzeitigen Vorüberfahren eines Wagens anstellte, brachten ihn zu der Ueberzeugung, dafs dieser Unterschied blofs von der gröfseren Stille herrühre, indem die Nerven des Ohrs durch keinen sonstigen Eindruck gereizt werden, und dieses Verhalten also damit übereinkomme, dafs auch die Nerven des Auges durch einen bereits vorhandenen Lichteindruck weniger empfindlich werden.

Am vollständigsten hat A. von Humboldt[2] diesen Gegenstand untersucht und dabei die zahlreichen Erfahrungen benutzt, die sich ihm auf seinen weiten Reisen darboten. Er bemerkt, dafs schon den Alten diese Beobachtung nicht entgangen sey, da Aristoteles[3] und Plutarch[4] ihrer gedenken. Dem Anscheine nach wird der Schall bei Nacht mehr in der Ebene, als auf Bergen von etwa 3000 Meter Höhe verstärkt, mehr auf dem Lande als auf der See. Dafs der Schall sich leichter in die Höhe als nach der Tiefe hin verbreitet, wird allgemein angenommen und stimmt ganz mit dem von Poisson[5] theoretisch gefundenen Resultate überein, wonach seine Intensität von der Dichtigkeit derjenigen Luftschicht abhängt, in welcher er entsteht. Das Getöse der Wasserfälle des Oronoco schien zu Atures bei Nacht dreimal so stark als am Tage, und ebendieses zeigte sich hinsichtlich des Getöses

1 Journ. of Nat. Philos. N. IX. G. III. 186.

2 Tableau de la Nature. T. II. p. 216. Ann. Ch. et Phys. T. XIII. p. 162. Daraus in G. LXV. 31.

3 Problem. Sect. XI. qu. 5. §. 33. Opp. ed. du Val. 1639. T. II. p. 115.

4 Sympos. L. VIII. c. 3. Ed. Par. 1624. T. II. p. 721.

5 Journ. de l'École pol. Cah. XIV. p. 328.

Digitized by Google

der Vulcane. Dafs die Stille der Nacht die Ursache seyn solle, glaubt v. Humboldt nicht, weil in jenen öden Gegenden das Summen der zahllosen Insecten bei Nacht stärker sey, als am Tage, und der Wind stets erst nach Sonnenuntergang wehe. Vielmehr soll die Ursache in der Einwirkung der Sonne auf die Luftschichten liegen, indem einzelne erwärmte Schichten und Lagen mit anderen kältern wechseln, wärmere in kältern aufsteigen und sich über sie lagern, so dafs also der Schall aus dichtern in dünnere Medien und umgekehrt übergeht, was seine Stärke allerdings vermindern würde, während der gleichmäfsigen Temperatur der Nacht aber wegfällt. Merkwürdig ist hierbei die Analogie zwischen dem Verhalten des Lichts und des Schalles, indem die Bewohner der Alpen und Anden die Verstärkung des Schalles während einer ruhigen Nacht für ein Vorzeichen bevorstehender Wetterveränderung halten, ebenso wie das helle Blinkern der Sterne. Zanotti[1] sucht die Ursache in einer gröfsern Dichtigkeit der kühlern Luft, Delaroche[2] aber findet keine der genannten Ursachen genügend und stellt es blofs als fraglich hin, ob vielleicht eine ähnliche Modification der Luft, als diejenige, wodurch auch bei Tage der Schall zuweilen verstärkt wird, etwa eine Veränderung ihres hygrometrischen und elektrischen Zustandes, Ursache dieser Erscheinung sey.

77) Ständen nicht A. v. Humboldt's Erfahrungen entgegen, so müfste man unbedenklich der allgemein angenommenen Erklärung dieser Erscheinung von Nicholson beipflichten[3]. Inzwischen glaube ich, dafs bei näherer Betrachtung die anscheinenden Schwierigkeiten wegfallen werden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht ist einmal nicht zu bezweifelnde Thatsache; in welchem Verhältnisse dieselbe aber wächst, ist keineswegs genau bestimmt. Von Humboldt schätzt sie selbst auf den Anden auf das Dreifache, ich möchte jedoch dieses noch für zu gering halten, obgleich es wohl unmöglich ist, ein genaues Mafs hierfür aufzufinden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht findet auch in Häusern und Zimmern statt, wo weder eine Abkühlung noch eine

1 Comment. Bonon. T. I. p. 173.
2 G. LVIII. 152.
2 Biot's gleichfalls hierfür zeugende Beobachtungen s. §. 83.

Digitized by Google

Mischung ungleich dichter Luftmassen anzunehmen ist und nicht wohl eine andere Ursache, als die von Nicholson angegebene, wirksam seyn kann. Hiernach scheint mir diese letztere die in den meisten Fällen und am stärksten wirkende zu seyn, wo sie aber nicht statt finden kann, z. B. in den durch v. Humboldt erzählten Erscheinungen, ist ohne Zweifel die von diesem scharfsinnigen Forscher angegebene wirksam; ohne allen Einfluſs ist auch die gröſsere Kälte bei Nacht nicht, beides mit anderweitigen Erscheinungen völlig übereinstimmend, und endlich scheint mir eine bisher nicht beachtete Ursache hinzuzukommen, nämlich der Einfluſs der verschiedenen Sinne auf einander. Je weniger bei Nacht der Sinn des Gesichts beschäftigt ist, um so mehr tritt die Thätigkeit des Gehörs hervor, wie man dieses allgemein bei den Blinden wahrnimmt. Wie bedeutend diese Wirkung sey, ist nicht wohl auszumitteln, da sich dieses durch ein Verschlieſsen der Augen nicht auffinden läſst; ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt jedoch auch in dem Umstande, daſs man bei erregter Aufmerksamkeit viel stärker hört, als wenn der Geist mit anderweitigen Dingen beschäftigt ist.

78) Obgleich der Schall eigentlich durch die Luft fortgepflanzt wird, so hat doch der Boden, über welchem die Luft ruht, oder es haben die Wände, zwischen denen die Luft eingeschlossen ist, einen entschiedenen Einfluſs auf die Stärke dieser Fortpflanzung, ebenso wie dieses hinsichtlich der Resonanz und der hierfür geeigneten Construction der Concertsäle und Opernhäuser bereits oben §. 44. erwähnt worden ist. Berücksichtigen wir zuerst die Beschaffenheit des Bodens, so ist zwar nicht jederzeit genau auszumitteln, ob der Boden selbst in Schwingungen versetzt wird und also hierdurch die Fortpflanzung des Schalles befördert, oder ob bloſs die gröſsere Stabilität, welche die über demselben ruhende Luft erhält, als Ursache hiervon zu betrachten ist. Nach den Untersuchungen der französischen Akademiker im Jahre 1738 hat der Boden auf die Fortpflanzung des Schalles an sich keinen Einfluſs, wenn nicht zwischenliegende Hügel, Städte oder sonstige Erhabenheiten seinen Fortgang hindern[1]. Einen ähn-

1 G. XLIV. 190.

lichen störenden Einfluſs soll nach Fröhlich[1] eine Schneedecke erzeugen; auch nimmt man als ausgemacht an, daſs Nebel und Trübung der Luft den Fortgang des Schalles hemmen. Im Ganzen genommen giebt es jedoch keine Erfahrungen, die über einen Einfluſs des Bodens auf die Leichtigkeit der Schallfortpflanzung entscheiden, und der Einfluſs der Witterung, selbst des Windes, auf die Stärke desselben bleibt mindestens sehr zweifelhaft. Kircher[2] behauptet zwar, daſs südliche und westliche Winde, Nebel und Trübung des Himmels den Schall schwächen; Derham[3] dagegen führt so widersprechende Resultate hierüber an, daſs es unmöglich ist, danach zu irgend einer Entscheidung zu gelangen. Ebendieses ist der Fall bei den zahlreichen und unter den verschiedensten Bedingungen angestellten, auch vielfach modificirten Versuchen der Pariser Akademiker[4] im Jahre 1738. Der Schall verbreitet sich ferner zwar rund um den schallenden Körper, jedoch ist er stärker in derjenigen Richtung, in welcher die ursprünglich erzeugten Schallwellen fortgestoſsen werden. Man versteht daher einen Redenden besser, wenn er mit dem Gesichte zugewandt, als wenn er abgewandt ist, besser wenn er eine Wand oder eine sonstige gröſsere Fläche hinter sich hat, als wenn er nach allen Seiten frei steht. Dahin gehören ferner die Schalldeckel der Rednerbühnen und Kanzeln. Chladni[5] bemerkt, daſs eine gestrichene Scheibe stärker tönt, wenn sich das Ohr oberhalb derselben als mit ihr in einer Ebene befindet. Vorzüglich leicht und stark soll der Schall über eine Wasserfläche fortgepflanzt werden. Hutton[6] stellte auf der Themse Versuche hierüber an und fand, daſs die Stimme eines Lesenden über der Wasserfläche auf 120 Fuſs ebenso deutlich vernommen wurde, als auf dem Lande bei 76 F. Entfernung. Den Seefahrern soll dieser Unterschied wohl bekannt seyn, auch will man bemerkt haben, daſs im Theater Argentino zu Rom, nachdem ein Wasserca-

1 Ebend. S. 403.

2 Phonurgia nova. Cum fig. Campidonae 1673. fol.

3 Phil. Trans. 1708. T. XXIX.

4 S. deren Zusammenstellung mit Anmerkungen von Gilbert in dessen Ann. XLIV. 177.

5 Akustik. S. 284.

6 Dictionary. T. II. p. 414.

Digitized by Google

nal unter dem Fufsboden angelegt worden war, die Stimme eines Redenden bis zu einer Entfernung sehr deutlich gehört wurde, wohin sie vorher nicht gelangte. Auch Mauern befördern sehr den Fortgang des Schalles, ebenso wie ein Boden von Steinen. Hutton beobachtete, dafs man an einem Theile der Gartenmauer zu Kipgston in Dorsetshire ein leises Flüstern bis auf 200 Fufs Entfernung deutlich hörte.

79) Dafs die Stärke des Schalles mit der Entfernung abnehme, ist unbestreitbar, nach welchem Gesetze aber diese Abnahme erfolge, ist keineswegs mit derjenigen Genauigkeit bestimmt, die in den meisten übrigen physikalischen Thatsachen herrscht, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel in der Schwierigkeit, ein genaues *Sonometer* oder einen Apparat zu construiren, vermittelst dessen die Stärke des Schalles mit hinlänglicher Schärfe gemessen werden könnte. Das beste Verfahren ist ohne Zweifel dasjenige, dessen sich Delaroche (§. 74.) bediente, nämlich das Ohr zwischen zwei tönende Körper in diejenige Entfernung zu bringen, in welcher die Stärke des Schalles beider gleich ist; allein wenn es auch leicht seyn mag, zwei gleich stark tönende Körper zu erhalten, so genügt dieses zu Messungen der Art doch nicht, vielmehr ist erforderlich, zwei von ungleicher, aber genau bestimmter Stärke zu haben, um dann die Abstände zu finden, in denen beide gleich sind, und diese Aufgabe ist bis jetzt noch nicht gelöst worden. Aufserdem folgt aus den bisherigen Betrachtungen, dafs verschiedene anderweitige Bedingungen auf die Abnahme des Schalles einen unverkennbaren Einflufs haben, und es bleibt demnach unbestimmbar, wie grofs die Wirkung der Entfernung für sich allein sey. Obgleich es daher insbesondere nach der Analogie mit der Verbreitung des Lichts höchst wahrscheinlich ist, dafs auch der Schall den Quadraten der Entfernung proportional abnimmt, so ist dieser Satz doch keineswegs durch die Erfahrung hinlänglich bestätigt worden und die Aussprüche hierüber beruhen daher noch zur Zeit blofs auf theoretischen Gründen. Schlimm ist es im Allgemeinen, dafs für diese Bestimmungen jederzeit das Ohr als Mefsapparat dienen mufs, da das Messen vermittelst der Sinne jederzeit einen hohen Grad der Ungewifsheit zurückläfst.

80) Die absolute Entfernung, bis zu welcher der Schall durch die Luft fortgepflanzt werden kann, ist insofern schwer

Digitized by Google

bestimmbar, als sie nach der Stärke desselben verschieden seyn mufs, die Schwierigkeit wird aber dadurch ganz unüberwindlich, dafs tropfbare Flüssigkeiten und feste Körper bessere Leiter sind und man daher in keinem Falle entscheiden kann, welchen Antheil die letztern an der Fortpflanzung haben. Alle hierüber vorhandene, gröfstentheils nicht einmal genaue Angaben können daher blofs zu einer ungefähren Uebersicht der Sache dienen, weswegen ich nur die vorzüglichsten zur Vergleichung hier erwähne.

Im Allgemeinen darf man annehmen, dafs der Schall leichter nach oben als nach unten fortgepflanzt werde, mindestens geschieht dieses dann, wenn die Höhe so beträchtlich ist, dafs an beiden Orten eine ungleiche Dichtigkeit der Luft statt findet, wonach dann der Schall leichter aus einem dichtern Medium in ein dünneres übergeht, als umgekehrt. Aufserdem folgt dieses aus der in der Regel aufwärts gehenden Bewegung der Luft, und endlich darf man den festen Boden als einen die Schallwellen aufwärts treibenden Resonanzboden betrachten. Hiermit stimmen die Resultate der Beobachtungen überein, wenn man auch die Angaben von Robertson, Garnerin und Fröhlich nach Gilbert's[1] richtiger Ansicht als keiner Beachtung werth betrachtet. Als entscheidend können dagegen die Erfahrungen gelten, die Saussure[2] und Schultes[3] hierüber gemacht haben, woraus hervorgeht, dafs der Schall sehr leicht auf weite Strecken vom Fufse bis zur Spitze hoher Berge gelangt, in entgegengesetzter Richtung aber ausbleibt; anderer ähnlicher Wahrnehmungen nicht zu gedenken. Eine der interessantesten unter diesen ist die, dafs man zu Carisbrook Castle unweit Newport das Auffallen einer Stecknadel auf die Wasserfläche eines Brunnens von 210 engl. Fufs Tiefe und 12 F. Durchmesser deutlich hört. Diese Schallverstärkung soll durch die eben gestrichene innere Fläche des Mauerwerks bei diesem Brunnen befördert werden[4].

Beispiele sehr grofser Entfernungen, bis zu denen eine starke Mannsstimme drang, sind bereits oben §. 75. und 76.

1 G. XVI. 21. 25. 31. 276.
2 Reisen Th. IV. S. 207. 288.
3 G. XX. 250.
4 Encyclop. Metrop. Art. Sound. p. 751.

Digitized by Google

angegeben worden, nämlich das Rufen der Schildwachen von Portsmuth bis Ride auf der Insel Wight auf etwa 4500 F. und die ungewöhnlich weite Distanz von 6696 engl. Fuſs bei den Versuchen zu Port Bowen. Ganz unglaublich ist die Angabe Derham's, die Thom. Young[1] mittheilt, daſs zu Gibraltar die menschliche Stimme weiter als 10 engl. Meilen (2 geogr.) gehört worden sey. In den meisten, wo nicht in allen Fällen aber, wenn die Fortpflanzung des Schalles auf groſse Entfernungen beobachtet wurde, ist man nie von dem Antheile versichert, welchen die Erde und das Wasser daran nahmen. Gehler[2] führt an, daſs man die zu Florenz abgefeuerten Kanonen 50 ital. Meilen weit zu Livorno und noch 5 Meilen weiter, bei der Belagerung von Genua aber auf 90 ital. Meilen über das Meer hin hörte; allein neuere Beispiele geben ungleich gröſsere Resultate. So hörte man unter andern 1792 die Kanonaden von Mainz auf der Hube bei Einbeck etwa 33 geogr. Meilen weit sehr deutlich, aber ohne Zweifel vermittelst der Fortleitung durch die Erde, im Jahr 1809 die Schüsse bei Helgoland zu Hannover auf etwa 35 geogr. Meilen, und, was wohl das Stärkste ist, am 4. Dec. 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge, also bis 80 geogr. Meilen weit[3], welches also noch diejenige Entfernung übertrifft, die bisher für die stärkste gehalten wurde, nämlich daſs die Explosionen des Vulcans St. Vincent bis Demerary, also auf 300 engl. Seemeilen oder 75 geogr. Meilen gehört wurden[4].

81) Die genaue Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zunächst und hauptsächlich nur wissenschaftlichen Werth. Allerdings ist diese Bestimmung jetzt mit so groſser Genauigkeit aufgefunden, daſs man dieselbe umgekehrt zur Messung von Entfernungen anwenden könnte, wenn dieses Mittel nicht meistens mit zu groſsen Schwierigkeiten verbunden wäre und daher nicht leicht absichtlich hierzu gewählt werden kann. Die vortheilhafteste Anwendung desselben läſst sich jedoch machen, wenn daran gelegen ist, die Entfernung

1 Young Lectures T. II. p. 266.
2 A. A. IV. 814.
3 Leipz. Zeitung.
4 Ann. of Phil. 1816. Jan. p. 3.

Digitized by Google

des schweren Geschützes zu erforschen, in welchem Falle es blofs einer genauen, Theile von Secunden angebenden, Uhr bedarf; in genähertem Werthe läfst sich auch die Entfernung des Blitzes und einer zerplatzenden Feuerkugel hiernach bestimmen. Die hierzu erforderliche Berechnung ist ausnehmend leicht. Heifst nämlich die normale Schallgeschwindigkeit $= V = 332{,}133$ Meter oder 1022,5 Fufs, und nennt man die nach der Temperatur corrigirte

$$V' = V\sqrt{1 + 0{,}00375\,t},$$

wenn t in Centesimalgraden bekannt ist (wofür man auch genähert 1,926 par. F. für 1° C. addiren kann), so findet man die Entfernung

$$E = V' \times T,$$

wenn T die Zeit in Secunden bezeichnet. Will man jedoch von dem für E aus der Zwischenzeit zwischen dem Blitze und dem Donner gefundenen Werthe auf die Entfernung des Gewitters schliefsen, so ist dieses trüglich, weil zwar die Entfernung des beobachteten Blitzes genau hierdurch gefunden werden kann, das Gewitter im Ganzen aber oft eine so grofse Ausdehnung hat, dafs es in sehr bedeutenden Abständen von einander abwechselnd aus demselben blitzen kann.

Newton[1] hat das Problem aufgestellt, aus der bekannten Fallgeschwindigkeit der Körper und der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung durch die Luft die Tiefe eines Brunnens vermittelst eines hineingeworfenen schweren Körpers und der beobachteten Zeit vom Anfange seines Falles bis zur Wahrnehmung des Schalles zu messen. Seine Auflösung ist mit veränderten Bezeichnungen folgende. Nach den Fallgesetzen ist $s = t^2 g$, wenn s den Raum, t die Zeit und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet; nach den Gesetzen der Schallfortpflanzung ist $V' t$ der vom Schalle durchlaufene Raum, wenn V' die corrigirte Geschwindigkeit und t die Zeit in Secunden bezeichnet. Ist dann x die unbekannte Tiefe des Brunnens und t' die Zeit, die der Körper gebraucht, um hinabzufallen, t'' aber diejenige Zeit, die erfordert wird, bis der Schall

1 Arithmetica universalis. Prob. L. Vergl. Kaestner Mathem. Abhandl. vermischten Inhalts. Erfurt 1794. Nr. 4.

Digitized by Google

wieder an der Oberfläche anlangt, so ist $\sqrt{\frac{x}{g}} = t'$ und $\frac{x}{V'} = t''$, weil aber $t' + t'' = t$ ist, so erhält man $\sqrt{\frac{x}{g}} + \frac{x}{V'} = t$, woraus x vermittelst einer quadratischen Gleichung gefunden wird. Man erhält nach gehöriger Reduction

$$x = vt + \frac{v^2}{2g} - \frac{v}{g}\sqrt{(4gvt + v^2)},$$

eine nicht logarithmische Formel, wonach ich jedoch früher einmal die zugehörigen Werthe für gegebene Zeiten bis auf Viertel-Secunden von 1 bis 10 Secunden berechnet habe[1], indem ich $g = 15$ par. F. und $v = 1046$ F. aus Rücksichten auf die höhere Temperatur annahm. Da diese Rechnungen mühsam sind und man doch zuweilen Gebrauch davon machen könnte, so möge die Tabelle hier Platz finden.

---

1 G. XLII. 398.

Digitized by Google

Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.	Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.
1,50	33,10	11,40	6,00	464,40	36,19
1,75	44,50	13,00	6,25	500,59	37,74
2,00	57,50	14,64	6,50	538,33	38,90
2,25	72,14	16,18	6,75	577,23	40,04
2,50	88,32	17,71	7,00	617,27	41,20
2,75	106,03	19,22	7,25	658,46	42,27
3,00	125,25	20,69	7,50	700,73	43,40
3,25	145,94	22,16	7,75	744,13	44,47
3,50	168,10	23,58	8,00	788,60	45,54
3,75	191,68	24,96	8,25	834,14	46,58
4,00	216,64	26,36	8,50	880,72	47,61
4,25	243,00	27,69	8,75	928,33	48,63
4,50	270,69	28,94	9,00	976,96	49,64
4,75	299,63	30,43	9,25	1026,60	50,63
5,00	330,06	31,61	9,50	1077,23	51,60
5,25	361,67	32,86	9,75	1128,83	52,57
5,50	394,53	34,17	10,00	1181,40	53,54
5,75	428,70	35,70	10,25	1234,93	

Dafs diese Werthe auf absolute Genauigkeit keine Ansprüche machen können, versteht sich wohl von selbst, auch wenn man den Einflufs der Temperatur als berücksichtigt annimmt, weil der Widerstand gegen die Luft ganz vernachlässigt ist; inzwischen sind die Bestimmungen insoweit hinlänglich genähert, als für diesen Zweck, hauptsächlich bei nicht sehr grofsen Tiefen, gefordert zu werden pflegt.

82) Eine der merkwürdigsten Modificationen der in der Luft fortgehenden Schallwellen sind die Interferenzen derselben, die bei ihnen auf ganz gleiche Weise als bei den Lichtwellen statt finden. Das Phänomen wurde zuerst durch Vieth[1] wahrgenommen oder bekannt gemacht, indem er zufällig fand, dafs das Nachklingen eines tönenden Körpers, wozu man eine Scheibe, einen gläsernen oder metallenen Stab, am bequemsten eine Stimmgabel, nehmen kann, in einer gewissen Richtung gegen das Ohr verschwindet. Hiernach vermuthete er, dafs das Ohr auf gleiche Weise eine unempfindliche Stelle haben müsse, als diese für das Auge durch Mariotte[2] nachgewiesen

1 G. XVII. 117.

2 S. *Gesicht.* Bd. IV. S. 1369.

ist. Hällström[1] setzte diese Untersuchungen weiter fort, bediente sich dazu meistens einer tönenden Scheibe und fand, dafs die Schallwellen in einigen Richtungen wirklich fehlen, man also nicht annehmen könne, dafs sie der bis dahin herrschenden Ansicht gemäfs sich rings um den tönenden Körper gleichmäfsig nach allen Richtungen verbreiteten. Die Gebrüder E. und W. Weber[2] entdeckten bei ihren akustischen Untersuchungen das Phänomen gleichfalls, ohne anscheinend von den frühern Beobachtungen Kenntnifs zu haben, und verfielen sogleich auf die richtige Ansicht, dafs die Erscheinung zu denjenigen gehöre, die Fresnel unter dem Namen der *Interferenzen* beim Lichte untersucht habe. Chladni[3] gab dann das sinnreich ausgedachte Mittel an, das Phänomen selbst deutlicher zu beobachten und andern wahrnehmbar zu machen, indem man ein gewöhnliches, am besten ein bauchiges Medicinglas durch hineingegossenes Wasser genau auf den Ton der Stimmgabel stimmt, wie man durch Hineinblasen prüfen kann, dann die Gabelzinke in horizontaler Richtung über ihre Oeffnung hält und um ihre Axe dreht, wobei der Schall sein Maximum erreicht, wenn sich die Flächen über der Oeffnung befinden, und verschwindet, wenn die Kanten in einer gewissen Lage dieser entgegengerichtet sind. Ist die Stimmgabel von vorzüglicher Güte, so dafs sie stark und lange Zeit anhaltend nachtönt, so kann dieser Wechsel mehrmals wiederholt werden, man kann jedoch auch mit schlechtern das Phänomen sowohl auf diese Weise wahrnehmbar machen, als auch dadurch, dafs man die Zinke in verticaler Richtung einen oder höchstens etliche Zoll vom Ohre entfernt abwechselnd um ihre Axe dreht. Eine andere, gleichfalls durch Chladni[4] vorgeschlagene Methode, die Schallwellen und selbst auch die Interferenzenlinien dem Auge sichtbar zu machen, besteht darin, dafs man einen tönenden Stab oder die Zinke (auch beide) einer tönenden Stimmgabel mit der Oberfläche von Wasser in Berührung bringt, über welche etwas Lycopodiumpulver ge-

1 Explicatio phaenomeni acustici a cel. Vieth nuper descripti. Praes. G. Hällström, Resp. Iuberg. Aboae 1805. Daraus in G. XXV. 90.

2 Wellenlehre S. 507.

3 Schweigg. Journ. XLVI. S. 103.

4 Kaestner Arch. VII. S. 233.

Digitized by Google

streut ist, W. Weber aber machte sie noch deutlicher sichtbar, indem er die Zinke einer Stimmgabel dicht über eine Membrane brachte, die auf einem quadratischen Rahmen straff ausgespannt war. Am besten war der Erfolg, wenn sie parallel mit der Diagonale der ausgespannten Membrane gehalten wurde[1].

W. Weber[2] hat später das Phänomen einer genauern, tiefer eingehenden Untersuchung unterworfen, deren Resultate oben[3] bereits mitgetheilt worden sind. Es ergiebt sich hieraus, dafs zur Erzeugung der hyperbolisch gekrümmten Interferenzenlinie nothwendig die eine Welle der andern um einen aliquoten Zeittheil vorauseilen mufs, damit die Erhabenheiten der einen mit den Vertiefungen der andern zusammenfallen, wenn man mit Weber annimmt, dafs die durch die vordere Seite der Zinke erzeugten Wellen durch diejenigen geschnitten werden, die durch den Impuls der hintern ihren Ursprung erhalten. Weber selbst läfst die Frage unentschieden, woher diese Verspätung rühre, Brandes aber meint, durch die Compression bei Erzeugung der ersten Welle werde nach La Place's Theorie Wärme ausgeschieden und hierdurch die erforderliche Beschleunigung bewirkt. Allein nicht zu rechnen die Argumente, die oben §. 72. gegen diese Theorie vorgebracht worden sind und in diesem Falle auf gleiche Weise insofern ihre Anwendung finden müfsten, als die Verdichtungswellen bei schnellerer Bewegung einem höhern, die Verdünnungswellen aber bei langsamerer einem tiefern Tone zugehören würden, ist gar nicht abzusehn, warum gerade die erste Welle eine gröfsere Geschwindigkeit, als die nachfolgenden, haben sollte, da doch alle dem nämlichen Tone zugehören und die Geschwindigkeit aller durch die Vibrationen des tönenden Körpers bedingt wird, dessen Ton sie fortleiten. Inzwischen läge die Ursache weit näher, wenn man der Ansicht Weber's folgen wollte, wonach die Interferenzlinien in den Durchschnittspuncten der Wellen liegen sollen, die von beiden entgegengesetzten Flächen der Zinke erzeugt sich schneiden, denn indem die Zinke sich in der Durchschnittsebene durch ihre Län-

1 Schweigg. Journ. Th. L. S. 247.
2 Schweigg. Journ. XLVIII. S. 385.
3 S. *Interferenz.* Bd. V. S. 778.

genaxe hin und her bewegt, entsteht von selbst auf der einen Seite eine verdichtende und gleichzeitige, auf der andern eine verdünnende Welle, die also bei gleicher Breite in ihrer Mitte sich schneiden und dadurch die Interferenzlinie erzeugen müssen. Mir scheint jedoch, dafs bei dem Phänomene überhaupt vielleicht ein anderes Verhalten statt finden könne. Wenn man die eine und die andere Fläche der nachtönenden Stimmgabel leise mit der Spitze einer feinen und dünnen Federmesserklinge oder einer feinen Nadel berührt, so gewahrt man an jeder ein Klirren, welches nach der Höhe des dadurch erzeugten schwachen Tones durch gleiche schnelle Pulsus erzeugt wird. Es läfst sich zwar nicht mit Gewifsheit hieraus folgern, dafs der Stab in der Richtung jeder der beiden Flächen schwingt, weil an der einen ein blofses Schaben in Folge einer Reibung statt finden könnte; allein durch genaue Beachtung des Phänomens wird jene erstere Folgerung mindestens wahrscheinlich, und sie erhält noch aufserdem eine Bestätigung durch die Curven, welche die Knöpfe der Stäbchen bei Wheatstone's[1] *Kaleidophone* beschreiben, woraus hervorgeht, dafs Stäbchen, selbst vierkantige, nicht in einer geraden Ebene schwingen. Nehmen wir aber an, dafs solche Stäbe abwechselnd in Ebenen schwingen, die auf ihre Flächen perpendiculär sind, so müssen die Schwingungen nach der einen in der Mitte zwischen die nach der andern fallen, wodurch die Durchschnittspuncte der verdichtenden und der verdünnenden Wellen von selbst gegeben werden, indem die von der angeschlagenen Seite ausgehenden um eine halbe Breite voraus sind. Die Figuren erläutern die auf diese Weise bei Zinken von ungleichen und gleichen Flächen entstehenden Interferenzlinien, da der Querschnitt der Stimmgabelzinken ebenso oft ein Parallelogramm als ein Quadrat zu seyn pflegt[2].

Fig. 160. u. 161.

Man hat dieses hier bezeichnete Verhalten der Schallwellen auch wohl *Polarisation*[3] genannt, auch redet Wheat-

1 S. *Kaleidophon.* Bd. V. S. 811.

2 Dafs die Interferenzlinie bei beiden Gestalten der Zinken eine ungleiche Richtung habe, scheint mir für meine Ansicht ihrer Entstehung sehr beweisend zu seyn.

3 Vergl. Schweigg. Journ. XII. 197. XVI. 187.

Digitized by Google

STONE[1] von einer Polarisation des Schalles in der Luft und bei seiner Fortpflanzung durch feste Körper, allein es ist mir nicht recht klar, was hierunter verstanden wird; eine eigentliche Polarisation des Schalles, wie die des Lichts, obgleich beide auf einer Wellenbewegung beruhn, ist bis jetzt noch nicht genügend nachgewiesen. Wenn aber PAROLETTI[2] gefunden haben will, dafs das Licht die Fortpflanzung des Schalles befördere, so verdient dieses wohl keine eigentliche Beachtung.

83) Die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft wird ausnehmend befördert, sobald die letztere in feste Grenzen eingeschlossen ist, und der Fortgang desselben durch Röhren bietet allerdings merkwürdige Erscheinungen dar. Dahin gehört unter andern schon der Umstand, dafs die Weite der Röhren dabei kaum oder überall nicht in Betrachtung kommt. Bis zu welcher Grenze der Weite diese Behauptung ausgedehnt werden könne, ist allerdings schwer auszumitteln, da zu Versuchen hierüber geeignete Canäle nicht leicht zu Gebote stehn, inzwischen geht aus minder vollkommenen Erfahrungen wenigstens so viel hervor, dafs eine gröfsere Weite die Wirkung sehr bald zu vermindern beginnt, wie man an langen Gängen in Gebäuden, Stollen und tiefen Schachten wahrnimmt, die den Schall bei weitem nicht so stark fortleiten, als enge Canäle. Schwerlich dürfte sich leicht ein Fall auffinden lassen, wo eine weitere Röhre den Schall fortleitete, als der §. 80. erwähnte Brunnenschacht von 12 engl. Fufs Durchmesser und 120 F. Tiefe, dessen ausnehmend starke Fortleitungsfähigkeit der Beachtung werth gefunden wurde. Ungleich wirksamer dagegen sind Camine und Schornsteine; die noch engeren Schläuche für die Luftheizung oder Dampfheizung aber dienen leicht dazu, den Schall durch die entferntesten Gemächer der ausgedehntesten Gebäude fortzupflanzen, weswegen man die erstern in Gefängnissen, Corrections- und Irrenanstalten vermeiden mufs, weil ihre Mündungen in den einzelnen Zimmern eine Communication mit andern, selbst den entferntesten, gestatten oder der Lärm beim Toben der Wahnsinnigen die mehr beruhigten aufschreckt. Geht die

1 Ann. of Philos. New Ser. T. VI. p. 81. Ann. of Philos. XXXII. 80.

2 Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 345.

Digitized by Google

Weite der Röhren bis auf einen Fufs Durchmesser und noch tiefer bis selbst unter zwei Zoll herab, so ist ihre Wirkung ganz unglaublich, und bis jetzt ist die Grenze der Enge noch nicht aufgefunden, die vermindernd zu wirken beginnt, ebenso wenig als sich angeben läfst, ob Krümmungen und Winkel ein Hindernifs herbeiführen. Letzteres ist der Analogie nach nicht wahrscheinlich, weil Biegungen der Röhren bei Blasinstrumenten nicht störend wirken, bei den Hörrohren vielmehr eine Verstärkung des Schalles erzeugen [1] und die Bewegung der Luft in Röhren durch Aenderung der Richtung in beliebigen Winkeln nicht wahrnehmbar verzögert wird [2].

Die Sache war im Allgemeinen bereits hinlänglich bekannt, als Biot [3] sie durch höchst interessante genaue Versuche mehr wissenschaftlich begründete. In Verbindung mit Bouvard, Malus und hauptsächlich Martin benutzte er eine in Paris neu angelegte eiserne Wasserleitung, um die Fortpflanzung des Schalles theils durch Gufseisen, theils durch die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule zu prüfen, und gelangte dadurch zu dem merkwürdigen Resultate, dafs im letztern Falle der leiseste Schall bis zu unglaublich weiter Entfernung noch hörbar bleibt. Anfangs schien zwar allerdings der Schall in der Röhrenstrecke, deren Länge 951 Meter betrug, so sehr abzunehmen, dafs keine Verständigung durch dieselbe möglich blieb, als aber Biot und Martin die geräuschlosen Stunden der Nacht von 1 bis 4 Uhr wählten, durchlief der Schall die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule von 951,25 Meter (2928,66 par. F.) so ungeschwächt, dafs man, wie es wörtlich heifst, ganz schweigen mufste, wenn man nicht gehört werden wollte, denn Worte, so leise gesprochen, als wenn man sich ins Ohr flüstert, kamen ungeschwächt am andern Ende an. Hierbei bleibt es allezeit merkwürdig, dafs Bouvard und Malus anfangs den durch kürzere Röhrenstrecken fortgeleiteten Schall sehr gut vernahmen, nachher aber bei 395 Meter Länge sich kaum noch verständlich machen konnten,

1 S. *Hörrohr.* Bd. V. S. 425.

2 S. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 672.

3 Mém. d'Arcueil. T. II. p. 405. Ann. Ch. et Phys. T. VII. p. 98. G. XXXV. 419.

Digitized by Google

und Biot selbst am Tage durch die ganze Strecke zwar ein starkes Schreien, aber nicht die einzelnen Worte wahrnahm. Man sollte denken, dafs die nämliche Schwächung des Schalles, die durch das gleichzeitige anderweitige Geräusch bewirkt wird, die Wahrnehmung des Schalles auch durch kürzere Strecken hindern mufste, wenn der Durchgang der Schallwellen durch Röhren von beliebiger Länge keine Verminderung der Stärke desselben bewirkte, und man müfste daher zur Erklärung des abweichenden Resultates annehmen, dafs das äufsere Geräusch in den Röhren selbst eine mit ihrer Länge zunehmende Schwächung des Schalles bewirkte. Diese Hypothese liefse sich sehr wohl mit Gründen unterstützen, wenn man darauf Gewicht legen wollte, dafs Schallwellen so leicht in allen hohlen Räumen aufgefangen werden[1]. Wird übrigens das Resultat der eben genannten Versuche von Biot als richtig angenommen, so folgt daraus, dafs die zum Versuche dienende Länge noch nicht hinreichend war, um eine Abnahme der Stärke des Schalles wahrnehmbar zu machen, und dafs demnach noch weit gröfsere zur Bestimmung des Gesetzes der Schallabnahme angewandt werden müfsten, wozu jedoch schwerlich Gelegenheit vorhanden seyn dürfte, und es ist daher sehr wichtig, diejenigen, die etwa bei neuen Wasserleitungen dargeboten werden, nicht unbenutzt zu lassen. Wollte man aber die durch Biot gemachte Erfahrung als in ihrer ganzen Strenge gültig betrachten, so würde daraus folgen, dafs man durch Röhren von beliebiger, selbst viele Meilen betragender Länge ohne Schwächung mit einander reden könnte.

Biot hörte bei diesen Versuchen auf gleiche Weise als sein Gehülfe Martin in der Röhre ein sechsfaches *Echo*, ohne dieses Phänomen zu erklären. Gilbert fügt die Bemerkung hinzu, dafs diese Echo's mit der Entstehung der Töne in offenen Pfeifen in Verbindung zu stehn scheinen und auf abwechselnden, schwingungsartigen, sehr kleinen Bewegungen aller Theilchen der sechsten Theile der halben Luftsäule in der Röhre vorwärts und wieder zurück, nach Art der longitudinalen Schwingungen der festen Körper, beruhn müfsten,

1 Ueber eine ähnliche räthselhafte Anomalie s. die weiter unten folgende Anmerkung.

Digitized by Google

da bei einem Echo der Schall vorwärts und rückwärts gehn mufs, mithin die doppelte Zeit gebraucht, als diejenige ist, in welcher er eine gerade Strecke durchläuft. Diese Ansicht ist gewifs nicht ganz verwerflich; zur vollkommenen Begründung einer Erklärung wäre aber erforderlich zu bestimmen, ob diese Echo's gleichmäfsig und in gleichen Intervallen bei allen Tönen von ungleicher Höhe erfolgten. War dieses der Fall, wie aus der Uebergehung einer Bestimmung hierüber mindestens sehr wahrscheinlich wird, so müfste allerdings das Verhältnifs der Röhrenlänge zur Weite der Schallfortpflanzung durch die Luft bei der Erklärung zum Grunde gelegt werden, wie dieses durch Chladni[1] bereits geschehn ist, wobei noch zur Beseitigung der Schwierigkeiten angenommen werden könnte, dafs zur Erhaltung einer normalen Abtheilung die äufsersten Schwingungsknoten vielleicht über die Enden der Röhren hinausreichten, wie etwas ähnliches auch bei Zungenpfeifen vorkommt.

Man macht verschiedene, meistens sehr interessante Anwendungen von der leichten Fortpflanzung des Schalles durch Röhren, insbesondere wenn man beabsichtigt, den Schall von einer bestimmten Stelle aus auf seiner ganzen Bahn unwahrnehmbar nach einem andern gegebenen Orte zu verpflanzen. So wird unter andern der Wächter im Mastkorbe auf Schiffen durch eine Röhre, die aus der Cajüte des Capitains am Mastbaume hinaufgeht, commandirt, und er theilt auf diesem Wege rückwärts Nachrichten mit[2]. Im Industrie-Comptoir zu Weimar erhalten die Arbeiter in den verschiedenen, zum Theil weit entlegenen Zimmern durch blecherne Röhren von etwa eines mäfsigen Fingers Dicke ihre Instructionen aus dem Geschäftszimmer und richten hierhin rückwärts ihre Fragen. In nördlichern Gegenden ist es nöthig, sie an den Enden im Winter mittelst eines Korkes zu verstopfen, damit kalte durchströmende Luft den Hauch in ihnen nicht gefrieren mache, und überhaupt ist dieses zu empfehlen, damit keine Insecten hineinkriechen; zugleich aber mufs jede Röhre mit einem an beiden Enden klingenden Schellenzuge versehn seyn, um voraus ein Zeichen zu geben, dafs man redend commu-

1 S. *Echo.* Bd. III. S. 80.
2 Mechan. Magaz. N. 325. p. 176.

Digitized by Google

niciren wolle[1]. Die bekannten redenden Köpfe, gewöhnlich *Türkenköpfe*, wie man sie früher häufig auf Kirchweihen und Messen den Neugierigen zeigte, die auf einem Tische an einer Wand zu stehn pflegten, in deren Ohr man die Frage flüsterte, um aus dem Munde die Antwort zu erhalten, gehören gleichfalls zu dieser Classe von Vorrichtungen, die gegenwärtig durch allgemeiner verbreitete Kenntnifs der Sache ihr Interesse meistens verloren haben und daher aufser Mode gekommen sind. Sie bestehn aus blofsen hohlen Köpfen, aus denen an der hintern Seite eine Röhre durch die Wand ins Nebenzimmer geht, wo die statt des Kopfes vermittelst der Röhre hörende und antwortende Person ihren Platz hat und durch die Verbindung dessen, was sie hört, mit dem, was sie, selbst im dunkeln Raume nicht sichtbar, durch eine feine

1 Nach diesen mir seit längerer Zeit wohl bekannten Erfahrungen ist oben den engern Röhren ein entschiedener Vorzug beigelegt worden. Neuerdings sind mir jedoch anderweitige Erscheinungen bekannt geworden, welche einander zu widersprechen scheinen und ebenso wenig bis jetzt aufgeklärt worden sind, als die oben bereits erwähnten Widersprüche zwischen den durch die französischen Gelehrten über die Fortleitungsfähigkeit des Schalles durch Röhren erhaltenen Resultaten. Froriep versichert nämlich, dafs die Fortpflanzung des Schalles durch die genannten, kaum einen Zoll weiten Röhren auf eine Entfernung von etwa 250 F. ohne Schwäche erfolge. Scheibler aber wandte auf eine noch gröfsere Strecke Röhren von ungefähr gleicher Weite an und erhielt gar keinen Erfolg. Dabei ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs die letztern Röhren über einen Hof unter der Erde hin liefen, statt dafs die erstern horizontal durch eine Reihe von Zimmern fortgeführt sind. Als aber später 32 Linien weite Röhren von Weifsblech angewandt wurden, war die Fortleitung so vollständig, dafs sogar die Schläge eines Secundenpendels aus einem Zimmer durch die ganze Länge im andern gehört wurden. Aber auch ein in einer Mauer befindlicher, 5¼ Zoll weiter, vierkantiger Canal von nur 35 Fufs Höhe, dessen vier Seitenwände aus rauhem Mauerwerke bestehn, läfst selbst den stärksten Schall nach Scheibler's Versuchen weder aufwärts noch herabwärts hindurchströmen. Da solche Communicationen vermittelst des Schalles bei vielen Anlagen von grofser Wichtigkeit sind, so verdienen diese Erfahrungen sehr berücksichtigt zu werden. Scheibler leitet das Ausbleiben der Fortpflanzung des Schalles durch die engen Röhren von dem Einflusse der umgebenden Erde ab, wie denn auch eine in einen Bleiblock eingegossene Trompete nicht tönen würde. Das Ergebnifs bei dem gemauerten Canale ist schwieriger zu erklären; Scheibler glaubt, der Schall werde von den rückwärts gekehrten Biegungen des Mauerwerks zurückgeworfen.

Digitized by Google

Oeffnung wahrnimmt, leicht die räthselhaften Fragen löst, die meistens von den Ungebildeten aufgegeben und zu ihrer grofsen Verwunderung richtig beantwortet werden. Eine wegen des sinnreichen Mittels der Täuschung sehr interessante Abänderung dieser Vorrichtung zeigte des bekannten v. Kempelen's Schwiegersohn nach einer von Vieth[1] darüber mitgetheilten Nachricht. Die *redende Figur* hatte übrigens nichts auszeichnendes, sie safs auf einem Stuhle an einer bestimmten Stelle des Zimmers, hörte und ertheilte die Antworten wie gewöhnlich, und man mufste danach also eine aus ihr durch den Fufsboden ins Nebenzimmer fortgeführte, den Schall leitende Röhre als vorhanden voraussetzen. Dann aber war es um so viel überraschender, dafs sie zusammt dem Stuhle von ihrer Stelle gerückt und mitten ins Zimmer gestellt wurde, um leise geheimere Antworten zu geben, ohne dafs irgend eine Verbindung mit dem Nebenzimmer oder eine sonstige zum Vorschein kam, und selbst Vieth, übrigens mit diesen Einrichtungen hinlänglich vertraut, konnte keine solche entdecken, bis sie ihm gezeigt wurde. Es gingen nämlich von beiden Stellen aus, wo der Stuhl stehn mufste, Röhren, von jeder eine, unter dem Fufsboden hin ins Nebenzimmer, und waren so gekrümmt, dafs ihr eines Ende gegen den einen Fufs des Stuhls gerichtet war, in welchem eine Röhre bis in den Kopf der Figur hinaufging; das unter dem Fufsboden aufwärts gerichtete Ende der Röhre wurde dann dem unten im Stuhlfufse sich öffnenden Röhrenende dadurch möglichst nahe gebracht, dafs das Fufsbodenbord an der gehörigen Stelle unten bis auf eine sehr dünne Stelle weggenommen war, die man zur Herstellung der Verbindung mit einer Nadel unmerklich fein durchstochen und, um sie nicht zu verfehlen, mit einem blofsen Nagel bezeichnet hatte.

Die interessanteste Vorrichtung dieser Art wurde im Anfange dieses Jahrhunderts eine geraume Zeit fast gleichzeitig oder bald nach einander in England, in Paris, an den Küstenländern Deutschlands und allmälig an den meisten bedeutendern Orten des europäischen Continentes unter dem Namen der *Invisible girl*, der *Femme invisible* und der *unsichtbaren Frau* von herumziehenden Künstlern mit grofsem Ge-

1 G. XXI. 301.

winne gezeigt. Das Geheimniſs, worein die Sache gehüllt war, wurde von Kennern der akustischen Gesetze bald errathen und dann ohne Widerstreben bekannt gemacht, denn die eigene Betrachtung der Maschine bleibt auch dann noch interessant und selbst wichtig, wenn man mit ihrem Mechanismus vertraut ist, und das besser belehrte Publicum läſst sich jetzt durch scheinbare Wunder nicht mehr täuschen, strebt vielmehr nach eigentlicher deutlicher Kenntniſs der Sachen. Daher wurde der Mechanismus der Vorrichtung nicht lange nach dem ersten Erscheinen in England durch einen Ungenannten, in Deutschland durch C. H. Pfaff beschrieben[1], und andere Beobachter fanden die Sache bestätigt.

Aus dem bloſsen Anblicke der Zeichnung wird die Sache klar. Fig. 162. Die Ueberraschung entsteht hauptsächlich dadurch, daſs der Haupttheil der Maschine, die hohle Kugel mit ihren vier trompetenartigen Mündungen, die vom englischen Beobachter als gerade, von Pfaff als herabwärts gekrümmt angegeben sind (wie auch ich sie an einem schönen Exemplare beobachtet habe), ganz frei an vier mäſsig breiten seidenen Bändern entweder von den gebogenen Drähten der Maschine, wie die Figur sie zeigt, oder von der Decke des Zimmers herabhängt, so daſs man dieselbe in die Höhe heben und dadurch den Mangel eines Zusammenhanges dieses eigentlich (scheinbar) redenden Maschinentheiles mit der übrigen Vorrichtung oder einem sonstigen Gegenstande darthun kann. Hierdurch wird sofort die Täuschung erzeugt, als diene das aus leichten Stäben gemachte Gitter bloſs zum Schutze dieses wichtigsten Theils, und der Gedanke, daſs durch einen der vier Träger desselben und eine der diese verbindenden Querleisten eine den Schall leitende Röhre gelegt sey, wird gleichsam zurückgedrückt. Die vier Pfeiler des Gegatters sind entweder so, wie die Figur zeigt, durch die beiden untern und die eine obere Querleiste verbunden, oder zwischen beiden befinden sich noch etwa einen Zoll breite, nur wenige Linien dicke, einander schräg kreuzende Leisten. Wie die Verbindung der sprechenden Kugel mit der den Betrug spielenden Dame durch eine in der Mitte der obern Querleiste mündende, in einem der Pfosten herabgehende, unter dem Fuſsboden hingeführte

1 G. XXVIII. 244.

Digitized by Google

und im Nebenzimmer aufwärts gebogen endende Röhre hergestellt sey, ist aus der Zeichnung ersichtlich; auch ist wohl zu vermuthen, dafs die unsichtbare Frau, selbst im dunkeln Zimmer befindlich, durch eine feine Spalte Kenntnifs von dem erhalte, was im Zimmer vorgeht, um ihre Antworten danach einzurichten, denn auch bei dieser Maschine findet die von Ungebildeten vielbewunderte Beantwortung räthselhafter Fragen statt, wozu die Zeichen, die auf sonstige Weise von vertrauten Personen im Zimmer selbst gegeben werden könnten, nicht hinreichen würden. Bei einigen Maschinen hörte man auf Verlangen auch eine schwachtönende Musik, wie von einem Forte-Piano in der Kugel, und obgleich die eigentliche Vorrichtung hierzu nicht speciell angegeben ist, so läfst sich doch leicht vorstellen, auf welche Weise der Schall des gespielten Instruments aufgefangen und der fortleitenden Röhre zugeführt werden mufs, um blofs durch die Kugel und nicht zugleich durch die benachbarte Wand gehört zu werden, indem dadurch sonst das Geheimnifs verrathen würde. Es ist bei den Maschinen dieser Art zur Erlangung der beabsichtigten Täuschung von Wichtigkeit, dafs die Mündung der Röhre, da wo sie der einen Trompete gegenüber endet, sehr fein und selbst dem schärfsten Auge nicht wahrnehmbar sey. Dieses wird dadurch erreicht, dafs der Stab, welcher an die Kanten der Querleisten angestofsen ist, eine schwarze Farbe erhält, während die Flächen der Leisten grün, blau oder sonst gefärbt sind. In der Vertiefung des obern Stabes an der inwendigen Kante der Leiste wird dann eine feine Ritze, etwa einen Zoll lang und kaum eine halbe oder nur eine Viertellinie weit, angebracht, die in die Leitungsröhre führt. Bei einem von mir gesehenen Exemplare war es mir nicht möglich, diese Oeffnung weder durch das Gesicht noch durch das Gefühl aufzufinden, obgleich ich die Stelle recht gut kannte, wo sie sich befinden mufste und auch wirklich vorhanden war, bis der Besitzer des Apparates, der mein Bemühen bemerkte, mich bat, vom Suchen zu abstrahiren, und dann nach Entfernung der übrigen Zuschauer durch einen hineingeschobenen Papierstreifen nicht blofs die Anwesenheit dieser Oeffnung, sondern auch die Unmöglichkeit zeigte, sie auf sonstige Weise aufzufinden. Dieser Umstand hat Dr. Schmidt[1] be-

1 G. XIX. 470.

Digitized by Google

wogen, die gangbare Erklärung des Phänomens zu verwerfen und eine andere aufzustellen, die jedoch akustischen Gesetzen widerstreitet; wenn er aber behauptet, unter alle vier Pfeiler des Gitters Kartenblätter geschoben zu haben, so ist allerdings zu verwundern, dafs hierdurch die Fortpflanzung des Schalles nicht aufgehoben wurde, indefs bleibt immer möglich, dafs der schlaue Besitzer der Maschine gerade das hemmende Kartenblatt unvermerkt zur Seite geschoben habe, auf jeden Fall müfste ein Versuch dieser Art unter gehöriger Controle angestellt werden. Dafs übrigens die feinsten Oeffnungen zur Fortpflanzung der Schallwellen genügen, beweiset die eben beschriebene, durch Vieth beobachtete Vorrichtung.

Der auffallendste Umstand bei dieser Maschine ist die Eigenthümlichkeit, dafs man in jede der vier Trompeten sprechen kann und willkürlich aus jeder die Antwort vernimmt, ohne dafs nach meinen Beobachtungen ein Unterschied der Stärke oder eine Verschiedenheit der Richtung wahrgenommen wird. Ob auch andern dieses aufgefallen sey, wage ich nicht zu bestimmen, es wird jedoch nichts hierüber angegeben. Die Ursache scheint mir darin zu liegen, dafs die in die Kugel gestofsenen Schallwellen sich nach allen Seiten hin ausbreiten und daher sowohl in die Mündung der Leitungsröhre, als auch, wenn sie aus dieser kommen, in alle vier Trompeten gelangen und daher vor der Oeffnung einer jeden wahrnehmbar sind. Wie sehr aber hohle Räume den Schall verstärken, ist bereits aus andern Erfahrungen bei Bauchreden, dem Hörrohre u. s. w. nachgewiesen, und manche dieser Erscheinungen werden durch diejenigen Erfahrungen aufgeklärt, welche man vermittelst der eben beschriebenen Maschine erhalten kann.

84) An diese Betrachtungen schliefst sich unmittelbar die Untersuchung des *Sprachrohrs* (*Tuba stentorea*, *stentorophonica;* Porte-voix; *Speaking trumpet*), indem durch dasselbe gleichfalls die Schallwellen zwischen Wänden fortgepflanzt werden, die jedoch nicht parallel, sondern unter einem Winkel gegen einander geneigt sind; auch sollen sie nicht blofs bis ans Ende der Röhre, sondern in beträchtliche Weite über diese hinaus und weiter gefördert werden, als ohne das Sprachrohr geschehn würde. Das jetzt gebräuchliche Sprachrohr ist vom Ritter Samuel Morland 1670 erfunden worden, welcher solche

Digitized by Google

Instrumente zuerst kleiner aus Glas, dann gröfser aus Kupfer in der Gestalt eines abgekürzten Kegels verfertigen liefs und viele Versuche, namentlich auch in Gegenwart des Königs Carl's II. und des Prinzen Robert, anstellte. Mit einem derselben, welches am einen Ende 2 Zoll, am andern 21 Z. Durchmesser und 5,5 Fufs Länge (sämmtlich englisches Mafs) hatte, machte er Versuche zu Deal und es zeigte sich, dafs die menschliche Stimme hierdurch auf 3 engl. Meilen weit fortgepflanzt wurde[1]. Als diese Erfindung bekannt wurde, mafste sich Athanas. Kircher[2] dieselbe an, und berief sich dabei auf das, was hierüber von ihm schon 20 Jahre früher bekannt gemacht worden sey, allein in der Schrift, worauf er sich bezieht[3], ist blofs von Röhren die Rede, durch die der Schall vom Munde des Redenden zum Ohre des Hörenden fortgepflanzt wird, und erst später gab er an, dafs sein Hörrohr auch als Sprachrohr gebraucht werden könne, wenn man es umkehre. Wenn er sich auf Schott und Harsdörfer beruft, so reden diese blofs von seinem Hörrohre, er selbst aber giebt den Albanus Ghibbisius, den Fr. Eschinardus und Caspar Schott als Zeugen an, dafs er vermittelst eines Rohrs aus seinem Zimmer im Collegium zu Rom den Thürwärter gerufen habe; allein auch dieses geschah der Beschreibung nach vermittelst einer blofsen Röhre. Mehr Aehnlichkeit mit einem wirklichen Sprachrohre scheint dasjenige Instrument gehabt zu haben, womit der Augustinermönch Salar[4] etwa 7 bis 8 Jahre früher die schwache Stimme eines Bassisten zu verstärken vorschlug. Einige wollten die Erfindung des Sprachrohrs in die Zeiten Alexander's d. Gr. versetzen, von welchem Kircher[5] aus einer alten Handschrift des Aristoteles (*de*

---

1 An Account of a speaking trumpet, as it has been contrived by Sam. Morland. Lond. 1761. Vergl. Phil. Trans. T. VI. N. 79. p. 3056.

2 Phonurgia nova. Romae 1673.

3 Musurgia universalis seu ars magna consoni et dissoni. Romae 1650. fol. Vergl. Derham Physico-theologia. Lond. 1754. 8. L. IV. cap. 3.

4 Journ. des Savants edit. de Hollande. T. III. p. 126.

5 Ars magna lucis et umbrae. Amst. 1671. fol. p. 102. Nach Kircher's Beschreibung liefs Salar 1654 in Paris ein solches Horn nachmachen. S. Hassenfratz in Ann. de Chim. T. L. p. 297.

Digitized by Google

Secretis ad Alexandrum magnum) anführt, er habe ein Horn gehabt, womit er sein Kriegsheer auf 100 Stadien weit zusammenrufen konnte. Auch Morhof[1] redet von diesem Instrumente, welches man *Tuba stentorophonica* (vom Stentor, dem starken Schreier im Homer) nennt, und führt die Stelle aus jenem untergeschobenen Buche des Aristoteles an, welches aus dem Arabischen übersetzt 1516 zu Rom gedruckt wurde, wonach also mindestens die Araber schon das Sprachrohr gekannt hätten; allein es ergiebt sich bald, dafs jenes nur ein Kriegshorn war, wie man solche allerdings im höchsten Alterthume kannte[2]. Was man bei Porta findet, bezieht sich gleichfalls blofs auf das Hörrohr[3].

Dafs das Sprachrohr zunächst oder überhaupt blofs durch das Zusammenhalten der Schallstrahlen, ohne theilnehmenden Einfluſs der Wandungen, wirke, wurde stets fast ganz allgemein angenommen, und die entgegengesetzte Ansicht von Musschenbroek[4], wonach die Masse des Instruments in Schwingungen versetzt werden soll, fand wenige Anhänger. In Uebereinstimmung mit der richtigern Theorie ergiebt auch die Erfahrung, dafs das Material, woraus dasselbe besteht, auf die Wirkungen keinen Einfluſs hat, und man verfertigt daher die Sprachrohre zwar meistens aus Weifsblech, die kostbarern nur selten aus Kupferblech, jedoch ist Pappe gleichfalls dazu tauglich. Weit verschiedener sind die Meinungen über die geeignetste Form. Die ursprünglichen von Morland bestanden aus einem abgekürzten Kegel, und diese Gestalt haben auch im Allgemeinen diejenigen, deren man sich noch jetzt bedient, einige selbst ohne das sonst gewöhnliche Mundstück am engern und den trompetenförmigen Fortsatz am weitern Ende, indem die anderweitigen Vorschläge einer verbesserten Construction mindestens nicht zu allgemeinerer Anwendung gekommen sind. Cassegrain[5] schlug schon 1672 vor, ihm

1 Dissert. de vitro per vocis sonum rupto. In Diss. acad. Hamb. 1699. 4.

2 Goguet Ursprung der Gesetze, Künste und Wissenschaften. Th. I. S. 326.

3 Magia naturalis. L. XX. c. 5. Vergl. Sturm's Collegium curiosum. P. II. tent. 8.

4 Introduct. ad Phil. Nat. T. II. §. 2256.

5 Journal des Savants. T. III. p. 131.

Digitized by Google

eine hyperbolische Form zu geben, so dafs die Axe des Rohrs die Asymptote der Hyperbel bilde. Conyers[1] hat mehrere Formen angegeben, zieht aber die Gestalt einer Glocke vor, deren oberer Theil parabolisch gekrümmt seyn soll, damit der Schall durch ein seitwärts angebrachtes Rohr in den Brennpunct der Parabel gelangt. Der Theorie nach müfste diese Gestalt die stärkste Wirkung leisten, indem die sämmtlichen reflectirten Schallstrahlen der Axe parallel fortgestofsen zu einem Cylinder vereinigt würden; allein die Erfahrung stimmt hiermit nicht überein. Joh. Matthias Hase[2] setzte das Sprachrohr aus einem elliptischen und einem parabolischen Stücke zusammen, so dafs der Mund sich in dem einen Brennpuncte der Ellipse befinden soll, während der andere zugleich der Brennpunct der Parabel ist. Auch dieses müfste der Theorie nach viel leisten, was jedoch die Erfahrung nicht bestätigt. Man sucht die Ursache hiervon in dem Umstande, dafs der Schall nicht wohl genau in dem einen Brennpuncte seyn kann, mir scheint jedoch die ganze bisher angenommene Theorie auf unrichtigen Principien zu beruhen. Martin[3] bemerkt mit Recht, dafs die parallele Zurückwerfung der Schallstrahlen zur Vermehrung ihrer Stärke gar nicht wesentlich ist, vielmehr die zahllosen Reflexionen und Reciprocationen hindert, wodurch nach Newton die Verstärkung hauptsächlich bewirkt werde. Die Verstärkung des Fortgestofsenwerdens des Schalles beruhe nämlich auf der Zahl der Zurückstofsungen der Schallwellen von den Seitenwandungen des Rohrs und hänge daher ab von der Länge desselben und von einer solchen Gestalt dieser Wandungen, wodurch jene Zurückstofsungen am meisten befördert würden, wonach die parabolische gerade am wenigsten geeignet sey, statt dafs die logarithmische oder logistische Curve die gröfsten Vorzüge darbiete.

Die gangbare Theorie des Sprachrohrs ist diejenige, welche Lambert[4] gegeben hat, wovon ich jedoch nur die Ele-

1 Phil. Trans. for 1678. N. 141. p. 1027.

2 Dissert. de Tubis stentoreis. Lips. 1719. 4.

3 Martin's Philosophia Britannica, or System of the Newtonian Philosophy. III. T. 8. Lond. 1771. T. II. p. 248.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1763. Uebers. von Huth Berl. 1796. Man findet sie ausführlich in G. U. A. Vieth Anfangsgründe

mente mittheile, weil sich die Unrichtigkeit derselben leicht nachweisen läfst. Nach ihm gehn Schallstrahlen von einem Puncte des redenden Mundes aus, werden wiederholt von den glatten Wänden des Sprachrohrs so oft reflectirt, bis sie sich zu einem Cylinder gestalten, und hierin liegt die Bedingung ihrer weiten Fortpflanzung. Heifst dann der Winkel an der Spitze des Sprachrohrs $= \varphi$, so wird der Schall im Verhältnifs von $2 (\sin.^2 \frac{1}{2} \varphi) : 1$ verstärkt. Hieraus ergeben sich die vortheilhaftesten Dimensionen des Sprachrohrs. Zur untern Oeffnung desselben nimmt man den doppelten Abstand der Spitze des Kegels vom Mundloche und diese Gröfse, dividirt durch $4 (\sin.^2 \frac{1}{2} \varphi)$ von der Spitze an gerechnet zur Länge, wonach also bei einem 6 Fufs langen Sprachrohre der Winkel an der Spitze $16^\circ 17'$ betragen und der Schall um das 96fache verstärkt werden würde. Die gründlichsten Untersuchungen dieses Problems sind durch Hassenfratz[1] angestellt. Zuerst fand er, das eine cylindrische Röhre von 0,6 Met. Länge und 0,038 Meter Weite das Picken einer Taschenuhr auf 2,25 Meter Entfernung hörbar machte, da es ohne diese schon in 1,1 Meter Entfernung nicht mehr wahrnehmbar war, woraus also hervorgeht, dafs eine cylindrische Röhre auch ohne die vermeintliche Reflexion der Schallstrahlen diese weiter fortpflanzt. Nach Lambert's Theorie mufste ferner das trompetenförmige Stück an der weiten Mündung der Sprachrohre, das sogenannte *Schallstück*, ohne Wirkung seyn, auch räth er, dieses wegzulassen; Versuche ergaben jedoch, dafs die Schallfortpflanzung bedeutend dadurch vermehrt wird, weswegen man dasselbe auch allezeit angebracht findet, ja selbst durch ein cylindrisches Rohr wird der Schall weiter fortgepflanzt, wenn sich ein solches Schallstück an seinem entfernten Ende befindet. Zur weitern Prüfung der Theorie einer Zurückwerfung der Schallstrahlen schob Hassenfratz in ein blechernes Sprachrohr eine Ueberkleidung von Wollenzeug und schreibt die dadurch bewirkte unbedeutende Schwächung blofs der Verengerung desselben zu; es hätte aber die Fortpflanzung gänzlich aufhören müssen, da eine Reflexion von Fig. 163.

---

d. Math. Th. II. Abth. 1. Leipz. 1824. S. 332. Vergl. Lambert über einige akustische Instrumente. Berl. 1799.

1 Ann. de Chim. T. L. p. 297.

Digitized by Google

dem weichen wollenen Zeuge unmöglich war. Hassenfratz[1] hat selbst später noch andere Constructionen des Sprachrohrs angegeben, wodurch ihre Wirkung verstärkt werden sollte, es scheint aber nicht, dafs der Erfolg diese Vermuthung bestätigt habe; wenn aber Gough[2] die ganze Wirkung dieses Instruments auf die Zurückwerfung der Schallstrahlen von tönenden Flächen zurückführen will, so zeigt sich dieses bald als so wenig begründet, dafs es keiner ausführlichen Widerlegung bedarf. Endlich hat auch Prechtl[3] eine Erklärung der Wirkungen des Sprachrohrs auf das durch v. Busse in Anregung gebrachte pneumatische Paradoxon gegründet, allein bekanntlich findet letzteres überall nicht statt[4] und es scheint mir daher überflüssig, auf diese Untersuchung weiter einzugehn.

Wenn wir die eigentliche Beschaffenheit der Schallwellen genau auffassen, so ist es mit der Vorstellung von dieser ganz unverträglich, sich dieselben als fortgehende, an die Wandungen der Röhren stofsende und in einem dem Einfallswinkel gleichen Ausfallswinkel reflectirte Strahlen zu denken[5], wenn auch der einmal eingeführte Ausdruck von Schallstrahlen beibehalten werden kann. Ein schallender Körper erzeugt vielmehr, der bisher consequent durchgeführten richtigen Ansicht gemäfs, rund um ihn sich verbreitende Schallwellen, die in stets gröfserm Kreise auslaufend soweit fortgehn, bis sie eben durch diese Ausbreitung und den Widerstand geschwächt, welcher jede Bewegung hindert, zu schwach werden, um die Gehörnerven noch weiter zu afficiren. Wird der Schall im einen Ende einer cylindrischen Röhre erzeugt, oder dringt er sogleich beim Entstehn in dasselbe ein, so bilden sich cylinderförmige Wellen, die sich nicht nach aufsen ausbreiten können und daher mit ganzer Stärke auf die Bildung einer Welle in der zu-

1 Journ. de Phys. T. LVI. p. 18. T. LX. p. 20. G. XIX. 145.

2 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. 1805. Mar.

3 G. XXIII. 261.

4 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 639.

5 Die Unzulässigkeit der Vorstellungen, wonach man sich die fortgehenden Schallwellen als die Strahlen denkt und nach Art der Katoptrik eine *Katakustik* und *Kataphonik* bildet, hat schon La Grange in Miscell. Taur. T. I. 1759. und später Poisson in Journ. de l'École polyt. T. VII. p. 350. gezeigt.

Digitized by Google

nächst sie berührenden Luftschicht wirken, sie würden also bis zu jeder gegebenen Entfernung fortschreiten, wenn jede folgende Welle auf gleiche Weise und mit gleicher Stärke, als die erste oder die ersten, gebildet würde; da aber jede Zusammendrückung oder Ausdehnung irgend einer Körpermasse mit einiger Reibung der elementaren Theilchen verbunden ist, so liegt in der Summe dieser stets wiederkehrenden Hindernisse ein Grund des endlichen Aufhörens der einmal mitgetheilten Bewegung. Aus dieser Ansicht folgt mit der Erfahrung übereinstimmend, dafs der Schall durch die Luft in cylindrischen Röhren weiter als durch feste Körper fortgepflanzt werde, und das Wasser müfste zwischen beiden in der Mitte liegen. Wo die cylindrischen Röhren enden, fangen die Wellen an, ihre Form zu verlieren, sich auszubreiten, und der Schall wird zu keiner weitern Ferne gelangen, als die er auch ohne die Röhre erreicht hätte, weniger derjenigen Entfernung, die der in der Röhrenstrecke bereits angenommenen Schwächung der Schallwellen proportional ist. Die Entfernung, bis zu welcher die anfangs in cylindrischen Röhren fortgehenden Schallwellen gelangen, mufs jedoch der Theorie nach wachsen, je länger die leitende Röhre ist, weil der aus den einzelnen Wellen bestehende Schallcylinder durch die öfter wiederkehrenden Oscillationen eine mehr bleibende Gestalt angenommen hat. Hiermit stimmen die Erfahrungen von Hassenfratz überein, ohne dafs sie jedoch ein bestimmtes Verhältnifs dieser beiden Gröfsen angeben. Aehnliche Wirkungen erzeugt auch das Sprachrohr. In diesem breiten sich zwar die fortgehenden Schallwellen aus, aber bei weitem nicht so unbegrenzt, als im freien Raume, und aufserdem nach einem bestimmten Gesetze, welches durch die Form des Instruments gegeben wird, wobei eine gleichmäfsige Succession, die der kegelförmigen Gestalt zugehört, am vortheilhaftesten zu seyn scheint. Auch hierbei folgt die gröfsere Wirkung der längern Sprachröhre aus dem bisher Gesagten von selbst, welcher Winkel der Seitenwandungen aber für die weitere Fortpflanzung am geeignetsten sey, scheint mir so lange unbestimmbar zu seyn, als wir die Breite der einzelnen wellenartig verdichteten und verdünnten Massen und die eigentliche Beschaffenheit derselben rücksichtlich dieser Modificationen nicht kennen. Indem nämlich die vor- und rück-

wärtsschreitenden Wellen in dem konischen Rohre oscilliren, erhalten sie durch die im Fortschreiten ihnen gestattete Ausbreitung und die beim Rückgange statt findende Zusammendrückung jederzeit einen erneuerten Impuls zum Fortgehn; sie stemmen sich zuletzt gegen das Schallstück, und müssen daher in ungleich gröfsere Fernen gelangen, als wenn sie im freien Raume oder auch anfangs in einer cylindrischen Röhre sich bewegen. Uebereinstimmend mit dieser Erklärung ist die §. 44. bereits erwähnte Verstärkung des Schalles durch Resonanz.

Hieraus ergiebt sich, dafs die Sprachröhre nicht füglich zu lang seyn können, bis sie sich wegen zu grofser Länge nicht wohl mehr handhaben lassen. Man hat sie in England bis zu 24 engl. Fufs lang dargestellt, und dieses dürfte wohl als das Maximum gelten, was sonst nicht überschritten seyn wird. Auf den Schiffen hat man meistens kleinere zum Anrufen anderer Schiffe, deren Gröfse selten etwa 4 bis höchstens 6 Fufs bei ungefähr 2 Zoll und 6 bis 10 Zoll Durchmesser der beiden Oeffnungen übersteigt. Ueber die absolute Entfernung, bis wohin sie den Schall zu tragen vermögen, hat man nur wenig zahlreiche und keine absichtlich wissenschaftlich angestellten Beobachtungen, weil diese eine freie, wenig bewohnte und stille Gegend erfordern. Nach Vieth's[1] Versuchen erstreckte sich an stillen Winterabenden die *bequeme* Rufweite mit einem 4,5 fufsigen Sprachrohre nicht über 5000 Fufs, Morland aber machte bei seinen bereits erwähnten ersten Versuchen zu Deal die Stimme eines Mannes mit einem 5,5 fufsigen Rohre schon bis 15000 engl. Fufs hörbar. Hutton[2] erwähnt Versuche, wobei die Worte vermittelst eines 16,6 fufsigen Rohres auf 1800 und vermittelst eines 24 engl. Fufs langen auf 2500 geometrische Schritte verstanden wurden. Hieraus geht schon hervor, dafs ein grofser Unterschied statt findet, ob man articulirte Worte versteht oder blofs einen nicht ganz verschwundenen Schall noch wahrnimmt. Sehr gute Sprachröhre zwischen 6 und 8 Fufs lang habe ich einst auf dem Wilhelmsstein (einer kleinen von Wasser umgebenen Festung) unweit Bückeburg gesehn, und

1 A. a. O. S. 348.
2 Dictionary of nat. Phil. T. II. p. 542.

Digitized by Google

man versicherte mich, dafs man vermittelst derselben mit dem fürstlichen Schlosse communicire, dessen Entfernung auf fast ¾ Stunde oder ungefähr 9000 Fufs geschätzt wurde. Aufserdem fand ich einmal Gelegenheit, auf einem einsamen Gute unweit Oppeln in Schlesien Sprachröhre zu probiren, mit denen die Arbeiter im Felde benachrichtigt wurden. Mit den besten, die gegen 10 Fufs Länge haben mochten, konnte der Schall einer starken Mannsstimme unter günstigen Umständen nicht weiter als bis auf eine Entfernung vernehmlich gemacht werden, die nach Schätzung 1,25 Stunden betrug. Hiernach und nach den Versuchen von Morland schätze ich die gröfste Entfernung, bis zu welcher eine starke Mannsstimme durch das längste Sprachrohr von 18 bis 24 Fufs Länge noch überhaupt hörbar bleibt, auf 18000 Fufs.

85) Eigenthümlich modificirt wird der in der Luft fortgepflanzte Schall durch die sogenannten *Sprachgewölbe*, (*Flüstergallerieen, Sprachsäle; fornix acusticus;* voûte acoustique, cabinet secret; *whispering-place*), Räume, in denen die Schallwellen von einem oder von mehreren Puncten aus durch Reflexion in einen Punct vereint bedeutend verstärkt werden, während man sie in den übrigen Theilen dieser Räume wenig oder gar nicht hört. Diese Wirkung erfolgt leicht, wenn Gemächer eine parabolische oder elliptische Wölbung haben, und überhaupt mufs man bei Rede- und Musiksälen mit allen Arten von Wölbungen vorsichtig seyn, weil sonst leicht eine solche Concentrirung der Schallwellen entsteht, die für die Zuhörer im hohen Grade unangenehm wird, weil die Vereinigung der verschiednen reflectirten Schallwellen nicht gleichzeitig erfolgt und daher ein unverständliches, brausendes Getöse erzeugt. Wie leicht die Schallwellen in gewölbten Räumen, nach Art der Lichtstrahlen in einem Hohlspiegel, vereinigt und verstärkt werden, zeigte sich unter andern zufällig auf einem Schiffe, welches unfern der Küste von Brasilien hinfuhr, in dessen aufgespanntem Segel der Schall so sehr condensirt wurde, dafs man an einer bestimmten Stelle vor demselben das Geläute der Glocken zu St. Salvador auf 100 engl. Meilen weit hörte[1]. Man versteht indefs unter Flüstergallerieen oder Sprachgewölben solche Zimmer, in de-

1 Arnott in Silliman Amer. Journ. N. XIX. p. 190.

Digitized by Google

nen man an einer bestimmten Stelle dasjenige deutlich hört, was an einer andern leise geredet wird.

Man findet Flüstergallerieen oder solche Sprachgewölbe häufig, wo sie absichtlos entstanden sind; ja es ist bei Räumen, die von gekrümmten Flächen eingeschlossen sind, oft schwierig, die nachtheilige Verstärkung des Schalles zu vermeiden, und mufste deswegen das chemische Auditorium zu München inwendig mit wollenem Zeuge ausgekleidet werden, um diesem Fehler zu begegnen. Interessant sind in dieser Hinsicht die Wölbungen im Thurme der Marienkirche zu Dresden, wo man an keiner Stelle einen Wiederhall wahrnimmt. Zu den mehrerwähnten Sprachgewölben gehört hauptsächlich das sogenannte Ohr des Dionysius (orecchio di Dionisio, grotta della favella) zu Syracus[1], welches seinen Namen von der Sage erhalten hat, dafs der Tyrann Dionysius die Gefangenen in diese Räume eingesperrt und dann ihre Reden belauscht habe. Es sind jedoch Steinbrüche und die akustische Eigenschaft der Höhlungen ist zufällig entstanden, auch waren die Wirkungen früher stärker als jetzt, da die spiralförmige Gestalt von mehrern sich verändert hat, doch hört man noch jetzt das Zerreifsen eines Stückchens Papiers von einem Ende des Gewölbes bis zum andern auf eine Entfernung von 47,5 Fufs. In der Kathedralkirche zu Girgenti in Sicilien hört man das, was am einen Ende bei der verschlossenen Thüre geredet wird, sehr deutlich am andern, dazwischen aber verschwindet der Schall[2]. In der Sternwarte zu Paris befindet sich ein absichtlich elliptisch gewölbtes Zimmer, welches die erwartete akustische Eigenschaft hat; sehr berühmt ist die Kuppel der Paulskirche zu London, wo man das Ticken einer Taschenuhr oder ein leises Flüstern von einer Seite der Gallerie bis zur andern hört, und in der Kirche zu Glocester verstärkt das Gewölbe an der Ostseite des Chors den Schall so sehr, dafs zwei leise redende Personen sich auf der Gallerie auf einen Abstand von 25 Toisen leicht verstehn können[3]. Am Rathskeller zu Bremen findet sich gleichfalls eine Flüstergallerie und an mehrern andern Orten,

1 Kircheri Phonurgia. Vergl. Beckmann Beiträge zur Gesch. d. Erfind. Th. I. S. 467.

2 Baydone in Mém. de l'Acad. de Turin. 1788 u. 1789.

3 Birch History of the Roy. Soc. T. I. p. 120.

Digitized by Google

jedoch hat man die meisten einer Beschreibung nicht werth geachtet. Ueberhaupt erzeugen kreisförmig zusammenstofsende Gebäude, oder wenn sie in ihrer Anordnung irgend eine andere Curve bilden, leicht ein Echo oder eine Verstärkung des Schalles[1], wie der Königsplatz in Cassel, ein schöner, mit Pallästen bebaueter Platz zu Bath (*the Crescent*) und mehrere andere, gröfstentheils gar nicht beachtete Orte.

B. Fortpflanzung des Schalles durch verschiedene Gasarten.

86) Die sämmtlichen Gasarten kommen rücksichtlich ihrer wesentlichsten Eigenschaften mit der Luft überein und auch selbst bei den nicht permanenten Gasarten, den Dämpfen, sind diejenigen Bedingungen vorhanden, die bei der Schallfortpflanzung in Betrachtung kommen; es müssen daher in ihnen auf ganz gleiche Weise Wellen erzeugt werden, wie in der atmosphärischen Luft, und der Theorie nach scheint es, als könnten alle dabei vorkommende Verschiedenheiten aus den bekannten Eigenschaften der Gase, insofern diese von denen der atmosphärischen Luft abweichen, abgeleitet werden. Es kommen hierbei zwei Fragen in Betrachtung, zuerst die Stärke und zweitens die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung. Rücksichtlich der ersten Frage kennt man selbst bei der atmosphärischen Luft die Sache noch nicht vollständig. Es ist nämlich zwar bekannt, dafs die dichtere Luft den Schall stärker leitet, als die dünnere, und dafs er im stärksten Vacuum gar nicht wahrnehmbar bleibt, auch sind oben §. 75. Erfahrungen beigebracht worden, welche den Einfluſs der Dichtigkeit der Luft auf die Stärke des in ihr fortgepflanzten Schalles deutlich beweisen, allein das Verhältnifs beider Gröfsen zu einander ist noch keineswegs völlig bestimmt und es stehn einer genauen Feststellung dieses Gesetzes auch insofern kaum übersteigliche Hindernisse entgegen, als wir kein Werkzeug haben oder für die vorliegende Aufgabe in Anwendung bringen können, durch welches die Stärke des Schalles nach dem Durchgange durch expansible Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit sich mit der erforderlichen Genauigkeit messen

1 Lichtenberg vermischte Schriften. Th. VIII. S. 229.

Digitized by Google

liefse. Schon Hawksbee[1] fand aus seinen Versuchen, dafs der Schall eines Weckers in verdichteter Luft verstärkt wurde, und in vielen Cabinetten finden sich noch Apparate, die bestimmt sind dieses zu zeigen, indem man sie unter einen Recipienten mit verdichteter Luft stellt und dann eine an ihnen befindliche Glocke zum Tönen bringt, allein dieses ist mit keiner genauen Messung verbunden. Aehnliche Versuche haben s'Gravesande[2] und Zanotti[3] angestellt. Leslie[4] liefs eine Glocke unter einer mit Wasserstoffgas gefüllten Campane tönen, dessen Elasticität 28 engl. Zoll betrug, und fand den Schall nicht stärker als in hundertmal verdünnter Luft. Hiernach nimmt er an, dafs die Stärke des Schalles in den verschiedenen expansibeln Flüssigkeiten dem Quadrate ihrer Dichtigkeit proportional sey, welches also für Wasserstoffgas eine Dichtigkeit = 0,1 geben würde, die der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen. Obgleich diese Bestimmung für gewöhnlich bereitetes Wasserstoffgas recht gut pafst, so übersieht man doch bald, dafs dabei von einer eigentlichen scharfen Messung die Rede nicht sey. Zahlreichere Versuche machte schon Priestley[5] mit Anwendung eines gleichen Apparates und gelangte gleichfalls zu dem Resultate, dafs die Stärke der Fortpflanzung ausschliefslich von der Dichtigkeit der Gase abhänge. Im Wasserstoffgas fand er den Schall fast so wenig hörbar als im Guericke'schen Vacuum, in kohlensaurem Gas soviel stärker, dafs die Entfernung ungefähr um die Hälfte mehr betrug, und auch Sauerstoffgas leitete den Schall besser, als seiner Dichtigkeit nach zu erwarten war. Am vollständigsten sind die auf ähnliche Weise angestellten Versuche von Perolle[6], nach welchem jedoch die Leitungsfähigkeit des kohlensauren Gases geringer ist, als die der atmosphärischen Luft. Wird die letztere als Einheit angenommen, so ist die des Sauerstoffgases = 1,135, des Salpetergases = 1,23,

1 Phil. Trans. T. XXIV. p. 1902. T. XXVI. p. 367.

2 Elementa Phys. math. §. 2354.

3 Comment. Bonon. T. I. p. 173.

4 Ann. of Philos. 1822. Sept. p. 172. Cambridge Phil. Trans. T. I. p. 267. Edinb. Phil. Journ. N. XIII.

5 Experiments and observations cet. T. III. p. 355.

6 Mém. de l'Acad. de Toulouse 1781. Mém. de l'Acad. de Turin. 1786 u. 1787. T. III. Mém. des Etrang. I.

Digitized by Google

des kohlensauren Gases (aus Kreide und verdünnter Salpetersäure) = 0,82, des Wasserstoffgases = 0,234. Ueber die Stärke des Schalles in Dämpfen hat Biot[1] Versuche angestellt. Er brachte zu diesem Ende in einen Recipienten, worin sich eine Glocke zum Tönen befand, nach dem Auspumpen der Luft etwas Wasser, und fand, dafs er den Schall der Glocke gar nicht wahrnahm, so lange die Temperatur gering war, welcher jedoch schwach hörbar wurde, nachdem er den Apparat in ein heifseres Zimmer gebracht hatte. Als er nachher Alkohol und Aether hineinbrachte und diese nach dem Exantliren in Dampf verwandelt wurden, war bei gleichen Temperaturen auf gleiche Entfernungen der Schall in den Dämpfen des Aethers am stärksten und in denen des Wassers am geringsten.

87) Die zweite Frage, über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in den verschiedenen expansibeln Medien, ist neuerdings durch Dulong so vollständig beantwortet worden, dafs es genügen wird, hier nur die Resultate seiner Untersuchungen mitzutheilen, indem er dabei auch die frühern Arbeiten im diesem Gebiete berücksichtigt hat. Die ersten bekannten Versuche hierüber stellte Chladni[2] an, und da es unmöglich oder mindestens kaum ausführbar ist, so lange Räume mit den zu prüfenden Gasarten zu füllen, als vergleichbare Versuche über den Fortgang des Schalles durch dieselben erfordern würden, so wählte er das einfachere und zugleich sichere Mittel, die nämlichen Pfeifen durch verschiedene elastische Flüssigkeiten tönen zu lassen, und aus der Tonhöhe die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen. Zu den Versuchen, wobei ihn v. Jacquin durch die erforderlichen Apparate und R. Döttler nebst Tihavsky durch geleistete Hülfe unterstützten, bediente er sich einer zinnernen Pfeife, die auf einer Campane so befestigt war, dafs beide vorher in einer Wanne mit Wasser gefüllt werden konnten, um die enthaltene Gasart völlig auszutreiben. Alsdann wurde die Campane und eine an ihr befindliche Blase mit der zu prüfenden Gasart gefüllt, durch Gleichstellung der Wasserhöhe im Innern und aufserhalb der Campane die Elasticität der Gasart dem Barometerstande pro-

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Nouveau Bullet. de la Soc. Philom. 1808. Janv. p. 76. G. XXXIII. 237.

2 Voigts Magaz. Th. I. St. 3. S. 65. Akustik S. 226.

Digitized by Google

portional gemacht und dann durch Drücken der Blase ein Ton erzeugt. Zu besserer Vergleichung wurde allezeit zuerst atmosphärische Luft angewandt und dann der erzeugte Ton auf einem Monochorde genau gestimmt. Die erhaltenen Resultate stimmten jedoch nicht mit der Theorie, wonach die Geschwindigkeiten des Schalles in den Gasen den Quadratwurzeln aus ihren Dichtigkeiten nach Newtons Formel §. 69. umgekehrt proportional seyn müfsten, überein, vielmehr zeigten sich die durch folgende Zusammenstellung übersichtlichen Abweichungen.

Gasarten	Dichtigkeit	Geschwindigkeit in par. F.		
		Berechnet	Beobachtet	Unterschiede
Atmosphärische Luft . .	1,000	1038	1038	0000
Sauerstoffgas	1,103	988	955	— 33
Stickgas	0,985	1045	990	— 55
Wasserstoffgas	0,084	3580	2250	— 1330
Kohlensäure	1,500	847	840	— 7
Salpetergas	1,195	949	980	+ 31

Die Bestimmungen sind nicht absolut genau, jedoch die Unterschiede gröfser, als dafs das angenommene Gesetz mit diesen Resultaten in Einklang zu bringen wäre. Aufserdem bemerkte Chladni die merkwürdige Anomalie, dafs ein künstliches Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas die nämliche Geschwindigkeit der Fortpflanzung zeigte, als atmosphärische Luft, und dafs bei Verbindungen beider Gasarten in verschiedenen Verhältnissen die Fortleitungsgeschwindigkeit nicht dem arithmetischen Mittel aus beiden Mengen gleich kam. Ist endlich die Geschwindigkeit im Wasserstoffgas weit geringer, als sie der Theorie nach seyn sollte, so ist sie doch weit gröfser als in jeder andern Gasart, was auch mit dem Resultate einer zufälligen Beobachtung übereinkommt. Mauduit athmete nämlich Wasserstoffgas ein, was ihm keinen Nachtheil brachte, aber er fand nachher seine Stimme ungleich höher und schärfer[1].

1 Bibl. Brit. Nr. 79. 80. p. 347. Voigts Mag. II. 1. p. 118. G. II. 200.

Digitized by Google

Kerby und Merrik[1] stellten viele Versuche an, bei denen sie eine Pfeife und einen Blasebalg unter einen Recipienten brachten und durch letztern in der erstern Töne erzeugten, nachdem sie sie luftleer gemacht und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt hatten. Die beobachteten Tonhöhen wurden mit einem Monochord gemessen und daraus die Schallgeschwindigkeiten berechnet; indefs scheinen mir ihre nicht ohne Ueberwindung grofser Schwierigkeiten erhaltenen Resultate in Vergleichung mit dem, was später aufgefunden worden ist, einer nähern Beschreibung nicht werth zu seyn. Ebendieses scheint mir der Fall bei den früher sehr schätzbaren Versuchen von Benzenberg[2], wobei er sich nach der durch Chladni befolgten Methode einer Campane mit eingesenkter Pfeife und einer angebrachten Blase bediente, welche im hydropneumatischen Apparate mit der erforderlichen Gasart gefüllt wurden. Statt der blofs genäherten Temperaturbestimmung seines Vorgängers versah er die Campane zur genauern Messung mit einem Thermometer. Interessant ist die durch Benzenberg gegebene Zusammenstellung der Resultate der drei genannten Versuchsreihen.

Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C., die in atmosphärischer Luft = 1027 par. F. angenommen.

	Chladni	Kerby u. Merrick	Benzenberg
Sauerstoffgas .	923	980	942
Stickgas . . .	966	1080	1032
Kohlensäure .	857	864	860
Salpetergas . .	970	1154	—
Wasserstoffgas .	2070	2180	2054

Die Unterschiede sind so bedeutend, dafs man nicht wohl umhin kann, die Ursache hiervon zum Theil in der befolgten Methode zu suchen. Gilbert bemerkt auch mit Recht, dafs es eine schwere Aufgabe sey, ganz reine Gase zu erhalten, dafs geringe Beimischungen schon einen bedeutenden Einfluss

1 Nicholson's Journ. of nat. phil. T. XXVII. p. 269. T. XXXIII. p. 161. G. XXXIX. 438.

2 G. XLII. 12.

haben können und daher die Resultate mit kohlensaurem Gase deswegen wohl am genauesten übereinstimmen, weil dieses Gas am leichtesten rein zu erhalten ist. Aufserdem zeigt derselbe, dafs alle drei Experimentatoren auf einen wesentlichen Umstand nicht Rücksicht genommen haben, nämlich auf die hygrometrische Beschaffenheit der Gase, dafs es daher bei solchen Versuchen besser seyn dürfte, sie mit vollkommen feuchten Gasen anzustellen und wegen des Feuchtigkeitszustandes zu corrigiren. Inzwischen beträgt diese Correction nicht viel, wie aus §. 69. zu entnehmen ist. Benzenberg hat auch Versuche über die Schallgeschwindigkeit in Dämpfen angestellt. Hierbei ist es interessant zu erfahren, mit welcher Leichtigkeit man diese anstellen kann, indem es hierzu weiter nichts bedarf, als eines hohlen Cylinders, den man in die obere Oeffnung eines mit Wasser gefüllten, über dem Feuer stehenden Gefäfses dampfdicht einsteckt und inwendig mit einer Pfeife versieht, in welcher die durchströmenden Dämpfe einen Ton erzeugen. Die gebrauchte Pfeife gab mit atmosphärischer Luft $\overline{=}$ c und durch die Dämpfe $\overline{=}$ d — $\frac{1}{16}$. Die hinzugefügten Berechnungen übergehe ich, da es ihnen an hinlänglich scharfen Werthbestimmungen fehlt.

Unter den verschiedenen für diesen Zweck angegebenen Apparaten scheint mir derjenige am besten zu seyn, welchen Biot[1] beschreibt, indem er sich durch Einfachheit und eine leichte Behandlungsweise vor allen andern auszeichnet und wahrscheinlich noch einfacher dargestellt werden könnte, als er angegeben ist. Er besteht aus einem etwas grofsen Behälter MM, welcher als rund angegeben ist, besser aber länglich cylindrisch und mit einem Fufse versehn seyn könnte. Durch eine Oeffnung soll das Barometer bb in das Innere herabgesenkt werden, um die Dichtigkeit der Luft im Recipienten zu messen; allein dieses scheint mir überflüssig zu seyn und erschwert die Manipulation des Apparates ausnehmend, denn wenn der Ballon luftleer gemacht wird, so giebt das Barometer der Luftpumpe den Grad der Verdünnung an, bei der Erzeugung der Töne aber mufs die Gasart aus der Blase in die Pfeife strömen, was nicht wohl gehörig geschehn

Fig. 164.

1 Traité. T. II. p. 176.

Digitized by Google

kann, wenn die eingeschlossene Gasart eine von der äufsern Luft verschiedene Elasticität hat, endlich aber mufs jede zu prüfende Gasart stets mit der atmosphärischen Luft verglichen werden und mit dieser daher einerlei Spannung haben. Sehr zweckmäfsig ist dagegen das Verbindungsstück mit dem Hahn R, vermittelst dessen der Apparat auf die Luftpumpe geschraubt, exantlirt und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt werden kann. Diese Vorrichtung gewährt den Vortheil, dafs das Tönen durch das zu prüfende Gas und in demselben auf gleiche Weise als bei der atmosphärischen Luft geschieht, und man erhält nicht blofs hierdurch die Gasart möglichst rein, sondern auch durch Anwendung des leichten Hülfsmittels, dafs man zuerst nach dem Exantliren eine Quantität der zu untersuchenden Gasart in den Ballon strömen lassen und dann abermals exantliren kann, um damit die letzten Antheile der früher darin vorhandenen Luftart zu entfernen. Die im Recipienten befindliche Pfeife AB mit ihrem zur Hälfte herausstehenden Fufse und dem aufgesteckten Hahnstücke R' als Träger des Ballons V von Federharz ist aus der Zeichnung an sich klar. Biot bemerkt, dafs der Druck gegen diesen Ballon oder eine Blase stets gleichmäfsig geschehn müsse, weil ein stärkerer Luftstrom den Ton abändere; auch sey es vortheilhaft, die Pfeife auf die von Grenié vorgeschlagene Weise zu compensiren, woraus jener noch ein Geheimnifs mache, allein der gleichmäfsige Zufluss der Gasart ist allerdings nothwendig und mufs daher auf irgend eine Weise erstrebt werden; ist dann aber die Pfeife eine an beiden Enden offene, was am besten die Unveränderlichkeit des Tones bewirkt, so sind bei allen unter gleichem Barometerstande und in gleicher Temperatur angestellten Versuchen die sämmtlichen Bedingungen bis auf das tönende elastische Fluidum gleich und die Tonhöhen der atmosphärischen Luft und der zu prüfenden Gasart können also vermittelst eines Monochords gemessen werden.

Biot entwickelt die Formeln, vermittelst deren aus den Tonhöhen die Beschaffenheit der angewandten Gasart, ihre Dichtigkeit, ihre specifische Wärmecapacität u. s. w. aufzufinden sind; allein die hierbei erforderlichen Correctionen wegen Temperatur und Barometerhöhe erweitern die Grenze der möglichen Fehler, die Verhältnisse der Dichtigkeiten, in welchen

Digitized by Google

die elastischen Flüssigkeiten zu den Tonhöhen stehn, sollen eben durch diese Versuche erst ausgemittelt werden, die Hypothese von der Ausscheidung der Wärme ist aber oben §. 72. als unstatthaft dargestellt worden, und diesemnach reducirt sich die Aufgabe einzig auf die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen expansibeln Gasarten. Bei gleich langen Pfeifen, wenn bei unverändertem Thermometer- und Barometerstande und unter sonst gleichen Bedingungen zuerst der Ton mit atmosphärischer Luft und dann mit der zu prüfenden Gasart erzeugt wird, wenn man beide vermittelst eines geeigneten Apparates (etwa eines Monochords oder eines musikalischen Instruments) zur Bestimmung ihrer Tonhöhe mit einander vergleicht, wobei es am besten ist, den Ton der atmosphärischen Luft als Einheit anzunehmen, sind die Tonhöhen (§. 55.) den Geschwindigkeiten direct proportional und werden also diese letztern unmittelbar gefunden. Heifsen dann die Geschwindigkeiten V und V′, die Dichtigkeiten D und D′, so ist nach Newton's Formel §. 69.

$$V : V' = \frac{1}{\sqrt{D}} : \frac{1}{\sqrt{D'}},$$

mithin

$$D' = \frac{1}{V'^2},$$

und es kann hiernach untersucht werden, ob die anderweitig bekannte Dichtigkeit der mit der atmosphärischen Luft als Einheit verglichenen Gasart mit der aus der Schallgeschwindigkeit gefundenen übereinstimmt oder nicht. In letzterem Falle müfste die Schallgeschwindigkeit nicht blofs von der Dichtigkeit, sondern auch von der chemischen Natur der Gasarten abhängen.

Die meisten Versuche unter allen vor Dulong bekannt gewordenen machte Richard van Rees[1] unter der Leitung von G. Moll und gebrauchte dazu Apparate, die dem eben beschriebenen sehr ähnlich waren. Für Gasarten, die vom Wasser nicht verschluckt werden, bediente er sich der Cam-
Fig. pane A mit der Pfeife B und einer durch den Hahn C ver-
165. schliefsbaren Fassung. Auf diese wurde die Blase E mit ihrer

1 Dissertatio de celeritate soni cet. Traj. ad Rhen. 1819. Schweigg. N. Journ. III. S. 235.

Digitized by Google

Fassung und dem Hahn D aufgeschraubt, die vorher auf der Luftpumpe entleert war. Die Campane senkte er dann ins Wasser, liefs aus der Blase das erforderliche Gas einströmen, füllte die Blase wieder und brachte dann die Pfeife durch Einblasen des Gases zum Tönen. Für die sauren, mit Wasser mischbaren Gasarten gebrauchte er einen gefafsten Recipienten A mit der Pfeife B, dem Hahn G und dem biegsamen Rohre H, um vermittelst desselben und einer Luftpumpe das Gefäfs luftleer zu machen, wobei das Barometer I den Grad der Verdünnung und den nachherigen Luftdruck anzeigte, die Blase aber zu gleichem Zwecke wie im vorhergenannten Apparate diente. Um sie gegen den Einflufs der sauren Gasarten zu schützen, mufste eine starke, mit Birnsteinfirnifs überzogene Rindsblase genommen werden. Auch zur Untersuchung der Dämpfe wurde eine eigene Vorrichtung hergestellt, eine Kugel A, durch die Weingeistlampe C geheizt, aus welcher die Dämpfe beim Aufsteigen durch die Pfeife B strömten. Der Behälter D diente zur Aufnahme der Dämpfe und eines Thermometers, um die Hitze derselben zu messen; er war daher bedeckt, doch so, dafs die Dämpfe daraus entweichen konnten, und die Tonhöhe wurde erst dann gemessen, wenn alle Luft aus der Röhre und möglichst auch aus dem Cylinder entfernt war. Eine gleichmäfsige Strömung der Luft wurde als nothwendige Bedingung erkannt und durch einen unveränderten Druck der Blase erreicht, bei den Dämpfen aber durch vorsichtige Regulirung der Flamme, damit das Sieden nicht über eine gewisse Stärke hinausging, was aus der Gleichförmigkeit des Tones erkennbar war. Der erzeugte Ton wurde jederzeit mit demjenigen verglichen, welchen die atmosphärische Luft gab, und beide nach einem Monochorde bestimmt. Bei den Luftarten gaben die Längen der gleichstimmenden Saiten des Monochords die Geschwindigkeiten unmittelbar, bei den Dämpfen aber wurde eine Correction wegen der Temperatur erfordert. Sind nämlich die Saitenlängen des Monochords, die der Luft und dem Dampfe zugehören, l und l', die Temperaturen t und t', so ist die corrigirte Geschwindigkeit

Fig. 166.

Fig. 167.

$$333{,}7\,\frac{l\sqrt{(1+0{,}00375\,t)}}{l'\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}}\ \text{Meter.}$$

Digitized by Google

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Gröfsen.

Gasarten	Temperatur	Saitenlänge	Geschwindigkeiten beob.	berechnet
Atmosphärische Luft	- - -	1,000	333,7	333,7
Sauerstoffgas . .	15°,6	1,054	316,6	317,7
Stickgas	12,8	0,987	338,1	339,0
Wasserstoffgas . .	16,1	0,365	914,2	1233,3
Kohlensäure . .	14,4	1,212	275,3	270,7
Kohlenoxydgas .	10,6	1,053	316,9	341,1
Oxydirtes Stickgas	17,3	1,186	281,4	270,6
Salpetergas . . .	8,0	1,077	309,8	327,4
Oelerzeugendes Gas	10,0	1,050	317,8	337,4
Schwefelwasserstoffgas	10,0	1,047	318,7	305,7
Schwefelichtsaures Gas	8,0	1,456	229,2	229,2
Salzsaures Gas . .	8,9	1,079	309,3	298,8
Ammoniakgas . .	13,3	1,857	389,4	432,0
Wasserdampf . .	10,6	0,830	369,6	422,6
Alkoholdampf . .	14,0	1,090	289,1	262,7

Den Mangel an Uebereinstimmung der berechneten und der beobachteten Geschwindigkeiten sucht VAN REES aus dem Umstande abzuleiten, dafs man nach BERNOULLI nicht genau bestimmen kann, wo bei angeblasenen Pfeifen der Anfang der Wellen beginnt, und aus der ungleichen respectiven Wärme der tönenden Gasarten. Das erste Argument fällt vermuthlich dann weg, wenn die nämlichen Pfeifen auf gleiche Weise angeblasen werden, über das letztere habe ich mich bereits (§. 72.) erklärt, und es ist daher fraglich, ob das angenommene Gesetz, wonach die Schallgeschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten umgekehrt proportional angenommen werden, der Sache nach wirklich für begründet zu halten sey. Es scheint dieses allerdings aus NEWTON's Formel nothwendig zu folgen, und ich sehe kaum ein Mittel, wie man dieses triftige Argument beseitigen könnte, es sey denn, dafs man sagen wollte, die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bilde in dieser Formel insofern einen Factor, als sie sich ihrem Wesen nach zu einer die Erde umgebenden Atmosphäre gestaltet habe, wobei es jedoch fraglich bleibe, ob eine der andern Gasarten auf gleiche Weise eine ihrer Dichtigkeit proportionale Atmosphäre gebildet haben würde. Im Ganzen scheint mir jedoch dieses Auskunftsmittel zur Ver-

Digitized by Google

einigung der Erfahrung mit der Theorie von geringer Bedeutung. Wichtiger dürfte dagegen die Vermuthung seyn, dafs der Factor der Dichtigkeiten bei manchen Gasarten nicht genau genug gewesen sey, da diese Bestimmung überhaupt schwierig ist und manche derselben durch Auflösung heterogener Körper ihre Dichtigkeit bedeutend ändern. Namentlich ist dieses beim Wasserstoffgas der Fall, welches in allen Versuchen die gröfsten Abweichungen zeigt, dessen Dichtigkeit aber eine geraume Zeit hindurch von den Chemikern sehr verschieden bestimmt wurde. Nach den eben mitgetheilten Resultaten fällt übrigens die oben erwähnte Schwierigkeit rücksichtlich der beiden die atmosphärische Luft bildenden Gasarten weg, indem die Summe der Geschwindigkeiten beider im gehörigen Verhältnisse vereint gerade die der atmosphärischen Luft giebt.

Dülong[1] stellte seine oben §. 46. bereits erwähnten schätzbaren Versuche zunächst in der Absicht an, um das Verhältnifs der specifischen Wärme unter beständigem Drucke zur specifischen Wärme bei gleichbleibendem Volumen oder den oben §. 70. genannten Factor k bei den Gasarten zu finden, welcher allerdings bei ihnen verschieden seyn mufs, wenn wir annehmen, dafs hierauf die Abweichung der theoretischen Geschwindigkeit von der beobachteten beruht, wie Dülong als ausgemacht betrachtet und daher die Ungleichheit der Schallgeschwindigkeit in der Absicht mifst, um jenen Coefficienten hierdurch zu ermitteln. Seine Versuche unterscheiden sich von den bisher erwähnten dadurch, dafs er die mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit zuströmenden Gase vorher austrocknete und sonach den Einflufs der Feuchtigkeit vermied, auch zählte er die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen vermittelst der Sirene. Aufserdem ermittelte er die absolute Schallgeschwindigkeit in atmosphärischer Luft aus der Länge der tönenden Pfeife und fand diese für 0° C. Temperatur = 333 Meter[2], was von der oben §. 67. erhaltenen

1 Ann. Ch. et Phys. T. XLI. p. 113.

2 Die Resultate, welche W. Weber aus seinen Versuchen mit Zungenpfeifen rücksichtlich der Schallgeschwindigkeit gefunden hat, enthebe ich mich genauer zu prüfen. S. Poggendorff's Ann. XVII. 193.

Digitized by Google

nur unmerklich abweicht. Hiernach machen also seine Versuche ein für sich bestehendes vollständiges Ganzes aus. Die Resultate derselben zeigt die nachfolgende tabellarische Zusammenstellung, zu deren Beurtheilung Folgendes dient. Heifsen n und n′ die Schwingungsmengen, welche die atmosphärische Luft und die zu prüfende Gasart in der nämlichen Pfeife geben[1], ihre Dichtigkeiten 1 und p, die Temperaturen t und t′ in Centesimalgraden und k der bezeichnete Factor, so hat man

$$n : n' = \sqrt{(1+0{,}00375\,t)}\,\sqrt{k} : \frac{\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}\,\sqrt{k'}}{\sqrt{p}},$$

worin k′ allein unbekannt ist, wenn man annimmt, dafs k aus der Vergleichung der theoretischen Schallgeschwindigkeit mit der aus Beobachtungen entnommenen zu finden sey.

---

1 Diese Schwingungsmengen oder die Summe der Vibrationen der Töne werden durch die gemessenen Tonhöhen unmittelbar gegeben, wie oben bereits bemerkt worden ist. Dabei kann der durch atmosphärische Luft erzeugte als Einheit gelten. Dulong suchte jedoch gröfsere Genauigkeit zu erhalten und bestimmte die Vibrationsmengen jedes einzelnen Tones vermittelst der Sirene, wie ich von ihm verstanden zu haben glaube.

Digitized by Google

Gasarten	Töne	Vibrat.	Temp.	Dichtigk.	Geschwindigk. berechn.	beob.	k′
Atm. Luft	c̄	500,4	22°	1	279,29	333 M.	1,421
Sauerstoffgas	h +	474,9 475,2 474,5	21	1,1026	266	317,17	1,415 1,417 1,413
Wasserstoffgas	≡ h —	1883,6 1881	17	0,0688	1064,8	1269,5	1,409 1,405
Kohlensäure	g	393,18 392,68	22 20,5	1,524	226,24	261,6	1,337 1,340
Kohlenoxydg.	c̄ +	501,3 503,07	15	0,974	283	337,4	1,423 1,433
Oxyd. Stickgas	g	392,7	20,5	1,527	226	261,9	1,343
Oelerzeug. Gas	h —	466,9	16	0,981	281,99	314	1,240

Wäre als ausgemacht zu betrachten, dafs die Schallgeschwindigkeiten in den verschiedenen Gasarten deren Dichtigkeiten umgekehrt proportional anzunehmen sind, ohne Rücksicht auf ihre chemische Beschaffenheit, so scheint es auf den ersten Blick, als ob die in der letzten Columne für k′ erhaltenen ungleichen Werthe blofs aus den verschiedenen Wärmecapacitäten derselben erklärt werden könnten, woraus dann ein sehr gewichtiges Argument für die Zulässigkeit der La Place'schen Hypothese folgen würde. Es stehn dieser jedoch die oben gewürdigten so bedeutenden Argumente entgegen, dafs ich keinen Anstand nehme, gegen die vollgültige Beweiskraft der übrigens sehr mühsamen, trefflich ausgesonnenen und schätzbaren Versuche Dülong's einige Zweifel zu erheben. Zuvörderst ist oben bereits nachgewiesen worden, dafs das von Dülong angewandte Mittel, die absoluten Schwingungsmengen eines Tones vermittelst der Sirene zu zählen, keineswegs zu den sichersten gehört, vielmehr eine bedeutend weite Fehlergrenze gestattet, denn er fand (§. 50.) für ā nur 834 Schwingungen, statt dafs Scheibler für die tiefste Pariser Stimmgabel 853,5, für die höchste aber 881,4 und für die von den besten Künstlern in Paris verfertigten im Mittel 868,7 erhielt.

Digitized by Google

Die Schwingungsmengen sind aber von dem bedeutendsten Einflusse auf die gesuchten Werthe von k', wie man daraus ersieht, dafs beim Kohlenoxydgas ein Unterschied von 1,77 Vibrationen bei einer Mittelzahl von 502,18 den Factor k' von 1,423 auf 1,433, also um 0,01 erhöht. Angenommen der Fehler bei der Bestimmung der ä gebenden Vibrationen liefse sich aus dem genau gefundenen Mittel der Pariser Stimmgabeln entnehmen und betrüge demnach 868,7 — 834 = 34,7 Schwingungen, so würde nach dem angegebenen Verhältnisse der geringste Werth von k', nämlich der für ölerzeugendes Gas gefundene, auf 1,440 erhöht und also vom geringsten zum gröfsten werden. Wer die oben angegebenen Schwierigkeiten genugsam würdigt, die Stimmung eines Tones durch das bloſse Ohr genau zu unterscheiden, und hinzunimmt, wie schwer es ist, mit der Sirene bis auf einzelne Vibrationen genau zu zählen, wird solche Fehler nicht übermäfsig grofs finden, um so mehr, wenn der Ton durch eine Labialpfeife erzeugt, also stets etwas schwankend und nicht hinlänglich scharf ist. Bei den Tönen der Pfeifen kommt vermuthlich noch die Strömungsgeschwindigkeit der Gase in Betrachtung, die gröfser oder geringer ist, wenn sie durch gleiche Oeffnungen fliefsen, wodurch der Stofs gegen die in der Röhre enthaltene Luftsäule mehr oder minder energisch seyn und die Tonhöhe hierdurch verändern kann. Diesemnach möchte ich auf die erhaltenen Resultate kein so hohes Gewicht legen und die Unterschiede der für k' gefundenen Werthe vielmehr als Beobachtungsfehler betrachten, da sie mit Rücksicht auf die nachgewiesenen Schwierigkeiten genauer Bestimmungen an sich nicht bedeutend sind, die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Gröfsen aufserordentlich von einander abweichen, der für Kohlensäure gefundene Werth bei allen übrigen Beobachtern fast gleich, bloſs bei Dülong sehr klein ist und letzterer für ölerzeugendes Gas eine ungleich kleinere Gröfse, als namentlich der mit grofser Genauigkeit experimentirende van Rees gefunden hat, aus seinen Versuchen folgert.

Digitized by Google

C. Fortpflanzung des Schalles durch tropfbare Flüssigkeiten.

88) Tropfbare Flüssigkeiten sind zwar allerdings einer Zusammendrückung fähig[1], allein sie sind so wenig elastisch, dafs sie sich zur Erzeugung des Schalles überall nicht eignen, und wenn von Werkzeugen, die durch Wasser tönen, die Rede ist, wie die *Wasserorgel* des Ctesibius, so sind diese Vorrichtungen, bei denen die durch strömendes Wasser comprimirte Luft in Pfeifen bläst und diese zum Tönen bringt. Man bezweifelte daher anfangs die Leitungsfähigkeit derselben für den Schall, konnte dieses aber mit den Gehörwerkzeugen der Fische und sonstiger Wasserthiere nicht in Einklang bringen, insbesondere da man beobachtet zu haben glaubte, dafs abgerichtete Fische durch den Ton einer Pfeife herbeigelockt werden könnten, was andere daraus herleiten wollten, dafs sie den Lockenden sähen, obgleich der Erfolg sich auch bei Nacht zeigte. Bei den älteren Untersuchungen über die Gehörwerkzeuge der Fische wurde daher stets die Frage über die Fortleitung des Schalles durch Wasser mit abgehandelt, z. B. durch Klein[2], Baker[3] und hauptsächlich durch Nollet[4]. Zugleich berief man sich auf Erfahrungen, wonach Taucher zwar schwach, aber doch deutlich unter Wasser gehört haben wollten[5]. Hawksbee[6], Anderon[7], Musschenbroek[8] und hauptsächlich Nollet[9] stellten viele Versuche hierüber an, ja letzterer tauchte sogar selbst unter Wasser, um sich durch eigene Erfahrung zu überzeugen, konnte aber dem Einwurfe nicht begegnen, dafs der Schall durch den Erdboden und den Pfahl, an welchem er sich unter dem Wasser hielt, fortgeleitet worden sey, widerlegte dagegen ein anderes Argument, nämlich

1 Vergl. *Elasticität*. Bd. III. S. 205.
2 Mantissa ichthyol. de sono et auditu piscium. Lips. 1746. 4.
3 Phil. Trans. N. 486. Daraus in Hamb. Mag. Th. V. S. 655.
4 Sur l'ouie des Poissons. Mém. de Par. 1743. p. 9. G. XLIV. 346.
5 Journ. des Savans. 1678. p. 417.
6 Philos. Trans. T. XXVI. p. 371.
7 Ebend. N. 486.
8 Introductio. T. II. §. 2267.
9 Leçons de Phys. T. III. p. 417.

Digitized by Google

dafs der Schall nicht eigentlich durch das Wasser, sondern durch die darin enthaltene Luft fortgepflanzt werde, vollständig durch die Versuche, die er mit ausgekochtem und vermittelst der Luftpumpe von Luft befreitem Wasser anstellte; überhaupt mufs man gestehn, dafs schon Nollet die Aufgabe genügend beantwortet habe[1]. Keinen Zweifel lassen ferner die Versuche von Monro[2] übrig, welcher als guter Schwimmer selbst untertauchte und dann den Schall einer in beträchtlicher Entfernung in einem Nachen abgeschossenen Pistole deutlich hörte. Die gehaltreichsten und bekanntesten älteren Versuche sind aber die von Perolle[3], welcher eine Taschenuhr nach Verstopfung der Fugen an einem Faden in ein Glas mit tropfbaren Flüssigkeiten gefüllt herabhängen liefs und sich hierdurch nicht blofs von der Leitungsfähigkeit des Wassers für den Schall im Allgemeinen überzeugte, sondern auch auf gewisse Weise den Unterschied der Stärke dieser Schallfortpflanzung durch verschiedene Flüssigkeiten ausmittelte, indem er das Ticken der nämlichen Uhr in der Luft auf 8 Fufs, in Wasser auf 20 F., in Olivenöl auf 16 F., in Terpentinöl auf 14 F. und in Weingeist auf 21 F. Entfernung hörte. Es ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs hierdurch kein eigentliches Mafs angegeben wird, weil der Schall aus der tropfbaren Flüssigkeit wieder durch die Luft fortgehn mufste, um ins Ohr zu gelangen. Wirklich ist die Fortleitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten ungleich gröfser, als sie diesen Bestimmungen nach zu seyn scheint, wie schon aus B. Franklin's[4] Zeugnisse hervorgeht, dafs er das Zusammenschlagen zweier Steine unter Wasser auf eine gröfsere Entfernung als eine halbe engl. Meile gehört habe. Hiervon kann man sich leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen, wenn man in einem Zimmer die Pendelschläge einer Wanduhr abwechselnd durch die Luft und durch das Wasser in einem Gefäfse hört, worein man das eine Ohr taucht, während das andere verstopft gehalten wird. Durch diesen und durch einige an-

1 G. XLIV. 346.

2 Vergleichung des Baues u. d. Physiol. d. Fische. Aus d. Engl. Leipz. 1787. 4.

3 Mém. de l'Acad. Roy. de Turin. 1790. T. V. p. 195. G. III. 167. Journ. de Phys. T. XLIX. p. 382.

4 Letters by Dr. Franklin. l. XLIV. vom 20. Juli 1762.

Digitized by Google

dere Versuche habe ich mich selbst von der starken Leitungsfähigkeit des Wassers und der noch gröfsern des Quecksilbers überzeugt[1]. Savart[2] setzte die Fortpflanzungsfähigkeit des Schalles bei tropfbaren Flüssigkeiten voraus und suchte daher auszumitteln, auf welche eigenthümliche Weise diese Fortleitung geschieht. Dieses bewerkstelligte er dadurch, dafs er feste Körper mit Wasser in Verbindung brachte, so dafs der Schall zuerst dem Gefäfse, dann dem darin enthaltenen Wasser und von diesem wieder dem festen Körper zugeführt wurde, wobei sich ergab, dafs das Wasser auf gleiche Weise und durch eben solche Wellen den Schall leitet, als dieses bei festen Körpern und auch bei der Luft geschieht.

89) Durch alle diese Untersuchungen war zwar die Frage über die Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten vollständig entschieden worden, auch geht aus denselben überzeugend hervor, dafs sie bedeutend stärker ist, als bei gasförmigen, indem sie vielmehr der durch feste Körper sich mehr nähert, allein über die Geschwindigkeit des Schalles in solchen Medien war nichts ausgemacht, obgleich diese Aufgabe kaum schwerer ist, als die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der atmosphärischen Luft. Die Frage ist indefs neuerdings auf eine genügende, dem gegenwärtigen Standpuncte der Wissenschaften angemessene Weise durch Colladon und Sturm beantwortet worden[3]. Sie theilen zugleich die Resultate einer Reihe von Versuchen mit, die Beudant früher angestellt hatte, selbst aber wegen mangelhafter Vorrichtungen für zu wenig genau hielt, um sie bekannt zu machen. Seine Versuche wurden auf dem Meere bei Marseille angestellt, wo zwei Kähne in einer gemessenen Entfernung von einander befestigt waren. In dem einen derselben schlug ein Gehülfe an eine unter Wasser befindliche Glocke und gab zugleich ein Zeichen, welches von dem Beobachter im andern Kahne bemerkt wurde, während ein anderer unter dem Wasser die Ankunft des Schalles anzeigte; allein hierbei stand die Schwierigkeit entgegen, diese Anzeige schnell genug zu machen. Als mittleres

1 G. XLVIII. 91.

2 Ann. Chim. et Phys. T. XXXI. p. 283. Bearbeitet durch Weber in Schweigger's Journ. LI. 298.

3 Ann. Chim. Phys. XXXV. 113. G. LXXXVIII. 39.

Digitized by Google

Resultat wurde eine Schallgeschwindigkeit von 1500 Metern in einer Secunde gefunden.

Die oben genannten Gelehrten wählten süfses Wasser zu ihren Versuchen, dessen Zusammendrückbarkeit sie vorher bestimmt hatten. Als Station diente die gröfste Entfernung, die Colladon auf dem Genfersee über allseitig hinlänglich tiefem Wasser zwischen Thonon und Rolle zu erhalten vermochte, und diese betrug zwischen beiden Booten nach genauen Messungen 13487 Meter. In dem einen Boote befand sich der Gehülfe, welcher nach verabredeten Zwischenzeiten vermittelst des Hebels m den Hammer M gegen die etwa 0,7 Meter hohe Glocke schlug, wobei zugleich die Zündruthe l das zum Signale dienende Schiefspulver p im Betrage von 0,25 ℔ berührte. Das Aufblitzen dieses Pulvers und das Anschlagen der Glocke geschah also gleichzeitig und wurde von Colladon im Boote der andern Station beobachtet. Zur Zeitmessung diente ein mit einem leichten Drücker versehenes Chronometer, welches arretirt wurde bis zum Erscheinen des Blitzes, dann bis zur abermaligen Arretirung beim ersten Wahrnehmen des Schalles fortging und auf diese Weise die Zeit bis auf 0,25 Secunde genau mafs. Die Beobachtungen liefsen sich leicht mit grofser Schärfe anstellen, sowohl die des momentanen Aufblitzens, als auch die des Schalles, welcher keineswegs langdauernd, gleichsam tönend, sondern kurz war und dem Zusammenschlagen zweier Messerklingen glich. Colladon bemerkt, dafs aus der Zwischenzeit zwischen der Wahrnehmung und der Arretirung des Chronometers ein Beobachtungsfehler entstehn mufste, welcher jedoch wegfällt, wenn er bei beiden Beobachtungen als gleich grofs angenommen wird; indefs ist Colladon geneigt, den ersten für etwas gröfser zu halten, weil die Wahrnehmung des Signals unerwartet kam, die des Schalles aber dann erwartet wurde. Inzwischen ist dieses wohl nicht mit absoluter Gewifsheit anzunehmen, da es immer fraglich bleibt, ob überhaupt und namentlich bei diesem speciellen Beobachter eine Wahrnehmung durch das Ohr oder durch das Auge schneller wirkt, mit Sicherheit aber darf vorausgesetzt werden, dafs der Unterschied beider Fehler oder der wirklich vorhandene Fehler die angenommene Gröfse von 0,25 Secunde nicht erreicht und daher füglich vernachlässigt werden kann. Da der Schall über dem Wasser nicht wahr-

Fig. 168.

Digitized by Google

nehmbar, das Eintauchen des Ohrs aber beschwerlich war, so wurde eine Art von Hörrohr aus Blech, bestehend aus einer Röhre von Blech, 5 Meter lang, unten mit einer Erweiterung, die durch eine gegen die Schallwellen gerichtete, 20 Quadratcentimeter haltende Platte bedeckt war, ins Wasser gesenkt und deren obere konisch zulaufende und etwas schräg gerichtete Oeffnung gegen das Ohr gehalten. Die grofse, nirgends unterbrochene, fast überall gleichmäfsige Tiefe des Sees, im Mittel von 140 Meter, die Klarheit und Reinheit seines Wassers, welches nach den Analysen von Tingry nur etwa $\frac{1}{6000}$ an festen Bestandtheilen enthält, kam bei diesen Versuchen sehr zu statten. Drei Reihen von Beobachtungen, im Ganzen 44 einzelne, die zwischen 9 und 9,5 Secunden lagen, gaben einen Mittelwerth von etwas mehr als 9,25, und dieser läfst sich also mit Rücksicht auf die oben erwähnte Verzögerung möglichst genähert zu 9,4 Secunden annehmen. Diesemnach beträgt die Schallgeschwindigkeit im Wasser Fig. 169.

$$V = \frac{13487}{9{,}4} = 1435 \text{ Meter in } 1 \text{ Secunde.}$$

Um zu finden, wie sich diese gefundene Gröfse zu der aus der Theorie folgenden Bestimmung verhält, wird eine Anwendung des Axioms gemacht, welches durch La Place[1] aufgestellt worden ist. Dieser nimmt nämlich sehr sinnreich an, dafs bei den Schallwellen, wenn sie in gasförmigen, tropfbarflüssigen und festen Körpern fortgepflanzt werden, die Bewegungen der Molecülen in Folge der Zusammendrückungen und der mit diesen wechselnden Ausdehnungen einander mitgetheilt werden. Ist dann ein Körper von einer gewissen Länge gegeben, weifs man, um den wievielsten Theil er durch ein dem seinigen gleiches Gewicht zusammengedrückt werde[2], und nennt man diesen m, so ist der Raum, welchen der Schall während einer Sexagesimalsecunde in demselben durchläuft, $= \frac{\sqrt{2g}}{m}$, den Werth von g nach der gewöhnlichen Bezeichnung dem Fallraume in der nämlichen Zeit gleichgesetzt. Wird hierin nach Canton's Versuchen die Zusammendrückbarkeit des Wassers = 0,0000425 gesetzt, so findet La Place die

1 Ann. Chim. Phys. T. III. p. 164.

2 Vergl. *Modulus der Elasticität.* Bd. III. S. 210.

Digitized by Google

Schallgeschwindigkeit für Flufswasser = 1525,8 und für Seewasser = 1620,9 Meter. Colladon und Sturm haben die Elemente ihrer Berechnung sehr scharf bestimmt. Sie finden das specifische Gewicht dieses Wassers bei 4° C., also im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit, gegen destillirtes = 1,00015, weil aber das Volumen des Wassers bei 8° C. als der Temperatur, wobei die Beobachtungen gemacht wurden, sich um 0,00013 vergröfsert, so kann sein spec. Gewicht bei dieser Temperatur unbedenklich = 1 gesetzt werden. Die Zusammendrückbarkeit dieses Wassers konnte zwar füglich der des destillirten gleich gesetzt werden, sie wurde jedoch eigends vermittelst des *Piezometers* gemessen und für 8° C. Temperatur der des reinen Wassers bei 0° C. gleich, nämlich 49,5 Milliontel gefunden. Sie benutzten dann ferner die von Poisson[1] gefundene Formel, wonach die Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{\frac{Pk}{D\varepsilon}}$$

ist. Hierin bezeichnet D die Dichtigkeit, k die Länge einer Säule unter einem bekannten Drucke, ε die kleine Verkürzung dieser Säule für einen gegebenen Zuwachs im Drucke P. Demnach ist für das zu untersuchende Wasser k = 1000000, ε = 49,5, und wenn für P der Druck einer Atmosphäre von 0,76 Meter Quecksilberhöhe bei 10° Temperatur genommen wird, bei welcher das Manometer bestimmt wurde, γ die Dichtigkeit des Quecksilbers und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet, so ist $P = 0{,}76 \times 2g \cdot \gamma$. Nimmt man ferner das spec. Gewicht des Quecksilbers bei 0° C. gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit = 13,568 und die Volumensvermehrung desselben für 1° C. = 0,00018, so wird $\gamma = \frac{13{,}568}{1{,}0018} = 13{,}544$ und also $P = (0^m{,}76)(9{,}8088)(13{,}544)$. Diese Werthe in die Formel substituirt geben die theoretische Schallgeschwindigkeit für süfses Wasser V = 1428 Meter = 4396,02 par. Fufs, welches von der durch die Versuche erhaltenen = 1435 Meter oder 4417,57 par. Fufs um nicht mehr abweicht, als die Fehlergrenze beträgt, wonach eine Correction wegen ausgeschiedener Wärme unnöthig scheint,

1 Mém. de l'Institut pour 1819. p. 396.

Digitized by Google

was mit dem Resultate der Versuche übereinstimmt, wonach ebendiese Gelehrten gefunden haben, dafs durch Compression der tropfbaren Flüssigkeiten keine Wärme entbunden wird[1].

90) Die genannten Beobachter haben bei diesen Versuchen einige Eigenthümlichkeiten des Schalles im Wasser wahrgenommen, die noch eine Erwähnung verdienen. Zuerst ist kein klingender Ton wahrnehmbar, wie beim Fortgange durch die Luft (indem der Schall einer aus beträchtlicher Ferne gehörten Glocke in ein anhaltendes Klingen übergeht), sondern ein kurzer Stofs. Es ist dieses eine Folge der geringen Elasticität des Wassers, welches durch die mitgetheilten Pulsus nicht, wie die sehr elastische Luft, in eigene Schwingungen übergeht. Nach der Theorie ist bei den Schwingungen einer Flüssigkeit die Dauer der Bewegung eines Theilchens gleich dem Radius des Kugelstückes, welches man als ursprünglich erschüttert annimmt, dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wovon die erstere kleiner, die letztere aber

---

1 Diese Formel auf atmosphärische Luft angewandt führt zu dem nämlichen Resultate, welches oben §. 73. gefunden worden ist. Hierfür ist dann $\frac{P}{D} = (0^m,76)\ (9{,}8088)\ (10466{,}8)$ mit dem geringfügigen Unterschiede, dafs oben der mittelste Factor genauer $= 9{,}8058$ angenommen wurde. Dafs zu dieser Gröfse ein Factor für die Zusammendrückung hinzukommen müsse oder dafs dieselbe durch $\frac{k}{\varepsilon}$ zu dividiren sey, mithin dafs nicht der Unterschied des aus $\sqrt{\frac{P}{D}}$ hervorgehenden Resultates von der durch die Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit blofs als Folge der ausgeschiedenen Wärme betrachtet werden könne, geht aus der Formel selbst mit Evidenz hervor. Wird aber mit Rücksicht auf das Mariotte'sche Gesetz der Factor $\frac{k}{\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ angenommen, so folgt hieraus

$$\log. \frac{P}{D} = 4{,}8922435$$

$$\log. \frac{k}{\varepsilon} = 0{,}1505150$$

$$5{,}0427585$$

$$: 2$$

$$\log. V = 2{,}5213792,$$

welches 332,18 Meter mit der Erfahrung übereinstimmend giebt.

Digitized by Google

gröfser bei Wasser ist, als bei der Luft, wonach also die Dauer nothwendig kleiner seyn mufs.

Eine zweite Bemerkung ist, dafs die Schallwellen nicht aus dem Wasser in die Luft übergehn, wenn die im Wasser fortgehenden Wellen die Oberfläche unter einem sehr spitzen Winkel treffen; denn in einem gröfsern Abstande als 200 Meter von der Glocke hörte man den Ton derselben mit bedeutender Abnahme schwächer und in 400 bis 500 Meter Entfernung vernahm auch das dicht über das Wasser gehaltene Ohr gar nichts mehr. Ebenso wurde der Schall bedeutend geschwächt, wenn bei einer absichtlich deswegen angestellten Versuchsreihe eine über die Oberfläche des Wassers hervorragende Mauer die gerade Richtung der Schallwellen unterbrach. Colladon und Sturm finden in beiden Erscheinungen eine Aehnlichkeit mit dem Verhalten des Lichts, dessen Wellen an den Oberflächen der Körper modificirt werden. Obgleich die Phänomene des Lichts und des Schalles auch übrigens grofse Uebereinstimmung zeigen, die sehr natürlich auf die hier gegebene Erklärung führt, so folgt doch auch aufserdem die letzte Erscheinung aus der Schwierigkeit des Ueberganges der Schallwellen in verschiedene Körper, die später §. 96. erörtert werden soll, die erste aber auch daraus, dafs nur in der Nähe die nicht weit ausgedehnten Bebungen des Wassers und des Apparats, woran die Glocke hing, die umgebende Luft in keine andere als schwache Vibrationen versetzen konnten, deren Wirkung auf das Ohr sich nicht weit erstreckt. Sehr interessant ist endlich die Bemerkung, dafs die Wellen, wodurch das Wasser mechanisch bewegt wird, auf die Fortpflanzung des Schalles keinen Einflufs haben; denn am letzten Tage war der See so unruhig, dafs die Boote kaum festzuhalten waren, und dennoch war die Stärke und Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung unverändert. Hier findet also etwas Aehnliches, als bei der Luft statt.

91) Eine Anwendung auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sonstiger Flüssigkeiten läfst sich aus diesen Betrachtungen leicht entnehmen, indem dieselbe theoretisch vermittelst der angegebenen Formel bestimmt werden kann, Versuche hierüber, aufser mit Seewasser, dürften aber wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten aufser dem Bereiche der Möglichkeit liegen. Dem analytischen Ausdrucke zufolge ist die Geschwin-

Digitized by Google

digkeit der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt proportional. Ganz anders verhält es sich mit der Stärke der Fortpflanzung, die nach v. Arnim[1] den Versuchen von Perolle gemäfs den Dichtigkeiten im einfachen Verhältnisse nahe genau direct proportional seyn soll; allein zu einer scharfen Bestimmung sind jene Versuche nicht genügend. Wenn man aber dasjenige berücksichtigt, was oben §. 88. über die starke Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten für den Schall gesagt worden ist, namentlich das Zeugnifs von B. Franklin, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, dafs für eine ungestörte Fortpflanzung der Schall in den Flüssigkeiten erzeugt werden und durch dieselben unmittelbar zum Ohre gelangen mufs, wenn die Stärke ihrer Leitungsfähigkeit geprüft werden soll, so ergiebt sich hieraus leicht, dafs Versuche dieser Art mit allzugrofsen Schwierigkeiten verbunden sind, als dafs sich eine genügende Lösung der Aufgabe so leicht erwarten liefse.

D. Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper.

92) Dafs der Schall durch feste Körper fortgepflanzt werde, und zwar ungleich stärker und schneller als durch die Luft, wufste man seit langer Zeit, und es geht dieses auch schon daraus hervor, dafs man einen Wecker unter einer Campane und den auswärts erregten Schall im überall verschlossenen Zimmer hört. Selbst diejenigen Schallwellen, die zu schwach sind, um durch die Luft geleitet das Ohr zu afficiren, werden hörbar, wenn feste Körper, insbesondere Stangen, Drähte oder auch nur straff angespannte Fäden zur Fortpflanzung dienen. Dieses wird durch die interessanten Versuche anschaulich, wenn man Glasröhren, silberne Löffel oder sonstige elastische Stäbe und Scheiben an einem oder zwei Fäden aufhängt und die Enden derselben nach dem Anschlagen der tönenden Körper mit den Fingern in den Gehörgang bringt, in welchem Falle man Töne wie von einer fernen sehr grofsen Glocke wahrnimmt[2]. Auf gleiche Weise läfst sich die ausge-

1 G. IV. 113.

2 Hexhold hat in Verbindung mit Rafn Versuche dieser Art im Grofsen angestellt, indem sie einen Faden auf 300 Ellen lang an-

Digitized by Google

zeichnete Leitungsfähigkeit fester Körper an einem beliebig langen, über eine bis zwei Linien dicken Metalldrahte anschaulich machen, wenn man das eine Ende desselben mit etwas Zwirn oder Baumwolle umwickelt in den Gehörgang bringt und das andere mit einem Stecknadelknopfe kaum berührt, wobei aber dennoch jeder Stofs deutlich vernommen wird. Auf der leichten Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper beruht das bereits erwähnte[1] Hören durch andere Theile des Kopfes, wenn man diese vermittelst stark leitender Körper mit den tönenden in Verbindung setzt, und überhaupt reden schon Kircher[2], Boerhave[3], Peter Kamper[4] und andere von dieser Sache als einer allgemein bekannten, wofür sie auch noch jetzt gilt, weswegen es keiner eigentlichen Beweise und keiner speciell namhaft zu machenden Autoritäten bedarf.

93) Eine ungleich stärkere Fähigkeit der Schallfortpflanzung der festen Körper, als der tropfbaren Flüssigkeiten und noch mehr als der Gasarten, zeigen selbst die rohesten Beobachtungen, aber das Verhältnifs der Stärke unter jenen und gegen die letztern ist noch kaum mit nur irgend einer Genauigkeit untersucht worden. Nach den wenigen hierüber vorhandenen Versuchen hängt diese theils von der Form theils von der Natur der leitenden Substanzen ab. Im Allgemeinen leiten lange, insbesondere fadenförmige Körper besser als grofse Massen und etwas dickere Drähte stärker als sehr dünne[5]. Die ersten genaueren Versuche zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit fester Körper machte Perolle[6] und fand die Hölzer am stärksten den Schall leitend, weniger Metalldrähte und noch weniger Schnüre und Fäden. Die nach den Längenfibern geschnittenen Hölzer leiteten in folgender Ordnung: Tan-

---

spannten, einen silbernen Löffel an das eine Ende hingen und das andere zum Ohre führten oder zwischen die Zähne fafsten. S. Reil's Archiv für Phys. Th. III. Hft. 2.

1 S. *Gehör*. Bd. IV. S. 1212.

2 Musurgia. L. I. sect. VII. cap. 7.

3 Praelect. in Institut. Rei medicae. T. IV. p. 414.

4 Kleine Schriften. Bd. I. Hft. 2.

5 Nach meinen Versuchen. G. XLVIII. 100.

6 Mém. de l'Acad. de Turin. 1791 u. 92. T. V. p. 195. Daraus in Voigt's Mag. T. X. St. 2. p. 39. G. III. 168.

Digitized by Google

ne, Campeche, Buxbaum, Eiche, Kirschbaum, Kastanie; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; Fäden und Schnüre: Darm, Haare, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Er untersuchte auch Zink, Antimon, Glas, Salz, Gyps, getrockneten Thon und Marmor, unter denen letzterer am schlechtesten leitete. Chladni[1] fand nach seinen Versuchen die Leitungsfähigkeit durch gläserne Röhren und demnächst durch Stäbe von Tannenholz am stärksten.

Baco[2] hielt noch die Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper für so unmöglich, dafs er annahm, es befinde sich ein eigener Aether in denselben, der diese Wirkung hervorbringe, Cartesius[3] dagegen setzte die Ursache in den stärkern Zusammenhang der Theile. Dr. Hooke[4] machte die ersten Versuche mit einem sehr langen gespannten Drahte und fand die Leitung des Schalles durch denselben weit schneller als durch die Luft. Von Arnim[5] glaubt, die Stärke der Schallfortpflanzung durch feste Körper sey ihrer Cohärenz proportional, wofür er die Bestätigung in Perolle's Versuchen findet. Dagegen meint Chladni[6], die Rigidität komme hierbei weit mehr in Betrachtung, als die Tenacität, indem er unter der ersteren die Kraft versteht, womit ein Körper der Gestaltveränderung Widerstand leistet, unter letzterer diejenige, die eine Trennung der Theile hindert. Glas sey diesemnach ein vorzüglicher Leiter des Schalles, wobei jedoch auch die Gestalt sehr in Betrachtung komme, indem ein langer Stab einen entschiedenen Vorzug vor einer dicken Masse habe.

94) Die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern suchte Wünsch[7] aufzufinden, indem er tannene Latten, 36 Stück jede von 24 Fufs, als ein horizontales, rechtwinkliges Dreieck vermittelst Zapfen zusammenfügte, am einen Ende das Ohr hielt, am andern mit einem Hammer anschlagen liefs

1 Akustik. S. 267.
2 Sylva sylvarum. Phon. §. 2. 3.
3 Epist. T. II. ep. 72.
4 Micrographia restaur. Lond. 1665. Praef.
5 G. IV. 112.
6 Akustik. S. 268.
7 Deutsche Abhandl. der Kön. Acad. d. Wissensch. von 1788 u. 89. Berlin. 1793.

Digitized by Google

und dann den Schall durch diese Leiter ohne Zeitverlust, durch die Luft in der Richtung der Hypotenuse aber nach einer halben Secunde hörte, woraus er schliefst, der Schall bewege sich durch feste Körper instantan; was jedoch gegen die Grundpribcipien der Mechanik streitet. Hassenfratz[1], mit Zuziehung des damals noch sehr jungen Gay-Lussac, liefs in den Steinbrüchen bei Paris einen Gehülfen mit einem Hammer gegen eine Steinmasse schlagen, die eine lange Wand bildete; auch benutzte er eine hölzerne 210 Fufs lange Barrière zu gleichem Zwecke, gelangte aber zu keiner eigentlichen Bestimmung der Geschwindigkeit, sondern blofs zu dem Resultate, dafs sie in festen Körpern gröfser sey, als in der Luft, und dafs die Höhe und Tiefe der Töne keinen Unterschied bewirke, wohl aber die Beschaffenheit derselben. Bei weitem die bedeutendsten Versuche sind die von Biot bereits §. 83. erwähnten, zugleich mit der Untersuchung der Fortpflanzung des Schalles durch die in Röhren eingeschlossene Luft verbundenen. Sie wurden so angestellt, dafs zwei Beobachter sich an die äufsersten Enden der 951,25 Meter (2928,33 Fufs) langen Röhrenstrecke stellten und zu verabredeten Zeiten mit einem Hammer dagegen schlugen, wonach also jeder von ihnen die Zeit messen konnte, die der Schall zum Durchlaufen dieser Strecke bedurfte, und aufserdem wurden durch dieses Mittel die Fehler im Gange der Uhren von selbst aufgehoben. Der eine Beobachter Martin schlug nämlich gegen das Röhrenende, wenn sein Chronometer 0″ und 30″ zeigte, Biot dagegen bei 15″ und 45″, und diese Zeit läfst sich mit etwas Uebung leicht genau einhalten. Die Unrichtigkeiten und selbst der ungleiche Gang beider Uhren fällt dann von selbst weg, wenn er weniger als 30 Secunden beträgt. Es gehe die eine Uhr um r Secunden vor und p sey die Zeit der Schallfortpflanzung, so wird der bei 0 Secunden gethane Schlag bei p — r Secunden gehört; schlägt dieser zweite Beobachter bei 30 Secunden, so zeigt die Uhr des ersten 30 + r Secunden und er hört den Schall bei 30 + r + p Secunden. Beide Beobachtungen geben also die Zeit p — r und p + r, wodurch der Fehler aufgehoben wird. Zwei Reihen von zusammen 19 Beobachtungen

1 Mém. de l'Inst. Sav. Etrang. T. II. p. 109. Ann. Chim. T. LIII. p. 64. G. XXI. 437.

Digitized by Google

gaben 2 p = 0,52 Secunden, also p = 0,26 Secunden, und da die Fortpflanzung durch die Luft in den Röhren 2,5 Secunden mehr betrug, also im Ganzen 2,76 Secunden, nach der Theorie aber 2,79 Secunden betragen mufste, so verdienen die Versuche hiernach Vertrauen und geben die Schallgeschwindigkeit durch die gufseisernen Röhren 10,5 mal so schnell, als durch die Luft. Benzenberg[1] bemerkt jedoch mit Recht, dafs diese Zeit überhaupt zu kurz war, um nicht eine bedeutend grofse Fehlergrenze zu gestatten, und daher stimmen auch die Gröfsen, die mit Theilen dieser Strecke und mit der ganzen erhalten wurden, keineswegs so genau überein, dafs man dem Resultate vollkommenes Zutrauen schenken könnte. Es ergiebt sich also hieraus, dafs diese Entfernung noch zu kurz war, um die Schallfortpflanzung, selbst mit Anwendung von Tertienuhren, genau zu messen.

Clement und Desormes[2] mafsen beiläufig bei Gelegenheit ihrer pneumatischen Versuche die Schallgeschwindigkeit in gufseisernen Röhren und fanden sie eine Secunde für 593 Meter, also ungleich geringer als Biot, was wohl unmöglich richtig seyn kann und von ihnen daraus erklärt wird, dafs sich zwischen den einzelnen zusammengeschraubten Röhren Lederscheiben befanden. Die ganze Angabe ist ohne Werth, da nach ihr die Schallgeschwindigkeit in solchen Röhren geringer wäre als im Wasser. Es ergiebt sich aus allen bisherigen Versuchen hauptsächlich nur die stärkere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in festen Körpern und zugleich die grofse Schwierigkeit, diese durch Versuche genau auszumitteln.

95) Bei der theoretischen Untersuchung der Schallfortpflanzung durch feste Körper kommt zuerst die Frage in Betrachtung, ob diese durch transversale oder longitudinale Schwingungen geschieht. Mit Gewifsheit läfst sich zwar hierüber nicht entscheiden, da die mitgetheilten Wellen zu schwach sind, als dafs man sie durch Figuren sichtbar darstellen und hiernach die aufgestellte Frage beantworten könnte, allein nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen mufs man sie für longitudinale Schwingungen halten. Dieses vorausgesetzt

1 G. XXXVII. 221.
2 Bulletin de la Soc. Philom. 1811. G. XXXIX. 142.

Digitized by Google

hat Chladni[1] ein durch innere Wahrscheinlichkeit sich sehr empfehlendes Theorem aufgestellt, um die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles durch die verschiedenen festen Körper zu bestimmen, welches die Gebrüder Weber[2] bei ihren Versuchen an gespannten Seilen so genau mit der Erfahrung übereinstimmend gefunden haben, als innerhalb der Fehlergrenze möglich war. Indem nämlich der Schall in der nämlichen Zeit eine Strecke von Luft durchläuft, in welcher eine gleich lange Säule eine Longitudinalschwingung macht, so läfst sich annehmen, dafs bei festen Körpern dieses nämliche Gesetz statt findet. Wenn also eine an beiden Seiten offene Pfeife von n Fufs Länge den nämlichen Ton giebt, als ein Stab von m Fufs Länge, so werden sich die Geschwindigkeiten beider verhalten wie n zu m, oder wenn die Längen der Luftsäule und des tönenden Stabes gleich sind, so werden die Geschwindigkeiten den Tonhöhen proportional seyn. Hiernach hat er aufgefunden, dafs Zinn 7,5, Silber 9, Kupfer beinahe 12, Eisen und Glas 17, die verschiedenen Hölzer zwischen 11 bis 17, gebrannter Thon 10 bis 12 mal so geschwind leiten, als die Luft[3]. Dafs diese Bestimmung für das Eisen mit dem Resultate der Versuche Biot's nicht übereinstimmt, erklärt Chladni[4] aus dem Umstande, dafs die ganze Strecke bei jenen Versuchen aus einzelnen verbundenen Röhren mit zwischenliegenden heterogenen Metallstücken und sonstigen Substanzen bestand.

Dafs nach der oben §. 89. angegebenen Formel die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern gleichfalls und vermuthlich mit grofser Genauigkeit gefunden werde, unterliegt wohl keinem Zweifel. La Place hat dieselbe in ihrer einfachsten Gestalt dazu angewandt, und da de Borda gefunden hat, dafs Messing (*cuivre jaune*) von einem Meter Länge durch ein dem seinigen gleiches Gewicht um 0,00000077379 Meter zusammengedrückt werde, so giebt dieses = m in der Formel $V = \sqrt{\frac{2g}{m}}$ substituirt und für $2g = 9^m,8088$ gesetzt die Schallgeschwindigkeit in dieser Substanz = 3560,4 Meter,

1 Voigt's Magazin Th. I. St. 1. S. 7. Akustik S. 265.

2 S. Wellenlehre S. 467.

3 Ausführlicher ist dieser Gegenstand bereits oben §. 18. untersucht worden.

4 Neue Beiträge u. s. w. S. 85.

Digitized by Google

welches von dem durch Chladni nach seiner Methode gefundenen Werthe = 3596,58 Meter nicht bedeutend abweicht, weswegen La Place den Unterschied als Folge der durch Compression freigewordenen Wärme betrachtet; indefs ist der Unterschied so gering, dafs er füglich als Beobachtungsfehler betrachtet werden kann, um so mehr, als ein aus der Correction für ausgeschiedene Wärme entnommener Factor ein viel zu grofses Resultat geben würde. Ungleich genauere Resultate würde man erhalten, wenn man sich zur Berechnung der theoretischen Schallgeschwindigkeit der Formel von Poisson §. 89. bediente, jedoch dürfte nicht leicht die Gelegenheit dargeboten werden, diese mit dem Ergebnifs der Erfahrung zu vergleichen.

Unter den Anwendungen, die man von der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gemacht hat, erwähne ich eine Spielerei von Wheatstone[1], die unter geeigneten Umständen interessant werden kann. Wenn man einen im Resonanzboden eines Forte-Piano oder eines sonstigen musikalischen Instrumentes befestigten Metallstab bis zum zweiten oder dritten Stockwerke hinaufführt und dort mit einem andern musikalischen Instrumente fest verbindet, oder wenn man ihn auf gleiche Weise herabführt und eine Harfe, Guitarre u. s. w. daran hängt, so hört man an letzterem Instrumente die Töne, die auf dem ersten hervorgebracht worden sind. Es läfst sich durch dieses Mittel auch den Schwerhörigen eine Unterstützung verschaffen, wenn man in ein hohles Gefäfs, hauptsächlich einen kupfernen Kessel, redet und einen auf dem Rande desselben ruhenden Stab zum Ohre oder zwischen die Zähne führt; auch wird das Hören ungemein verstärkt, wenn man mit dem einen Ende eines Stabes den Resonanzboden eines Instrumentes berührt, dessen anderes man zwischen den Zähnen fafst. Inzwischen scheinen diese Anwendungen seltener zu seyn, als sich nach älteren Nachrichten schliefsen läfst, die in den §. 92. erwähnten Schriften mitgetheilt werden.

Bei weitem die bedeutendste Anwendung der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gewährt das durch Laennec vorgeschlagene *Stethoskop*[2]. Dasselbe besteht aus

1 The Journal of the Royal Institut. N. V. p. 223. Wiener Zeitschr. X. 469.

2 De l'Auscultation médiate cet. Par. R. T. Laennec. Par. 1819.

Digitized by Google

einem ungefähr 1 Fuſs langen und 1,25 Zoll dicken Cylinder von hartem Holze, am einen Ende flach, am andern meistens etwas ausgehöhlt[1], einige haben am oberen Ende noch eine in den Cylinder versenkte messingne Röhre von 3 bis 4 Zoll Länge und etwa 5 Linien Weite, die ausgezogen, nach oben gerichtet und mit dem Ohre in Verbindung gesetzt wird[2]. Die Wirksamkeit dieses Apparates beruht bloſs auf der angegebenen so ausgezeichnet viel stärkeren Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper, und es dient daher zu dem Zwecke, um mit dem einen Ende äuſserlich auf den kranken Theil des Körpers gehalten am andern dem Ohre des Arztes die Anwesenheit innerer Höhlungen kenntlich zu machen, in denen der Schall nach der bereits erwähnten Wirkung solcher Räume eine eigenthümliche Beschaffenheit erhält. Wegen der in das Gebiet der praktischen Arzneikunde gehörigen Anwendung desselben verweise ich auf die wichtigsten der zahlreichen hierüber erschienenen Werke[3]. Aehnlich in seiner Wirkung, zu gleichen Zwecken anwendbar, jedoch künstlicher und minder bequem und daher nicht gleich sicher in den erhaltenen Resultaten, ist das Mikrophon, ein durch Wheatstone[4] vorgeschlagenes Instrument, welches verschwindend schwache Töne hörbar machen soll. Es besteht aus einem für das Ohr passenden und gegen die harten Theile des Kopfes gestemmten Becken von Messing, auf dessen Mitte ein langer

---

2. Voll. 8. T. I. p. 8. Vergl. J. L. Casper Charakteristik der franz. Medicin. Leipz. 1822. p. 230.

1 Es würde nicht bloſs genügen, sondern noch zweckmäſsiger seyn, beide Enden zur Vermeidung der scharfen Kanten etwas abzurunden.

2 Nachricht von einem biegsamen Stethoskope findet man in Froriep's Notizen Bd. XXVI. S. 206.

3 An Introduction to the Use of Stethoscope cet. By W. Stocker. Edinb. 1825. 8. Observations on M. Laennec's Method of forming a Diagnosis of the diseases of the Chest by means of the Stethoscope and of Percussion cet. By Ch. Scudamore. Lond. 1826. De la Percussion médiate cet. par P. A. Piorry. Par. 1828. 8. Original Cases with dissections and observations illustrating the Use of the Stethoscope and Percussion cet. By John Forbes. Lond. 1824. 8. Dissertatio inauguralis medica de Stethoscopii in morbis pectoris usu. Auct. H. C. Vanhall. Utr. 1823. und viele andere.

4 Berzelius Jahresbericht VIII. p. 9.

Digitized by Google

Metallstab befestigt ist, um durch diesen die Töne dem Ohre zuzuführen. Hat man solche an beiden Ohren, so lassen sich die zwei Drähte in einen vereinigen.

96) Als Anhang zu den bisherigen Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles im Allgemeinen mufs noch die Bemerkung hinzugefügt werden, dafs die fortleitenden Schallwellen wohl ohne Ausnahme eine bedeutende Schwächung erleiden, sobald sie aus einem gewissen gegebenen Mittel in ein anderes übergehn, wobei jedoch derjenige Körper gleichfalls und wohl vorzugsweise zu berücksichtigen ist, welcher unmittelbar mit dem Ohre in Verbindung steht. Viele Erscheinungen ergeben sich als Folge dieses allgemeinen Gesetzes. So wird man das Ticken einer Taschenuhr bis zu einer Entfernung von etwa zwei Fufs leicht deutlich hören, wenn der Schall blofs durch die Luft fortgepflanzt wird, das Hören desselben verschwindet aber gänzlich, sobald man die Uhr mit mehreren Lagen eines seidenen, leinenen oder baumwollenen Tuches umwickelt, ungeachtet alle diese Substanzen den Schall stärker leiten, als die Luft. Ein Wecker verliert an Stärke des Schalles, wenn man ihn unter eine Campane stellt, noch mehr, wenn man über diese eine zweite stürzt, und noch ungleich mehr, wenn man weiche Körper dazwischen bringt, ein Mittel, dessen sich Musschenbroek[1] bediente, um den Schall ganz verschwinden zu machen. Man hört das Schlagen gegen eine Taucherglocke aus einer Tiefe von 30 F. oben sehr deutlich, aber die Taucher vernehmen nichts von einem über dem Wasser erzeugten Schalle[2], weil derselbe von der Luft ins Wasser und aus diesem wieder in die Luft übergehn mufs, was allgemein nur unvollkommen geschieht. Colladon konnte daher (§. 89.) den Schall der angeschlagenen Glocke nicht wahrnehmen, wenn er eine an beiden Enden offene Röhre ins Wasser senkte und das Ohr an das obere Ende hielt, weswegen er die beschriebene Maschine zur Wahrnehmung des Schalles benutzte. Indefs scheint mir dabei die gröfsere den Schallwellen entgegengehaltene Fläche weit weniger von Bedeutung gewesen zu seyn, als vielmehr die eingeschlossene Luftmasse in dem weiteren unteren Theile

1 Introduct. T. II. §. 2255.

2 Biblioth. univers. T. XIII. p. 230.

Digitized by Google

des Rohres, wodurch der Schall bedeutend verstärkt wird, wie die §. 83. erwähnte Construction der unsichtbaren Frau deutlich zeigt. Dafs jedoch auch derjenige Körper von Einfluſs sey, welcher mit dem Ohre in unmittelbarer Berührung ist, davon kann man sich überzeugen, wenn man das Ohr unter Wasser taucht und dann den Schall aus der Umgebung weit deutlicher wahrnimmt, als durch die Luft.

Endlich verdient noch eine Eigenthümlichkeit hier erwähnt und in theoretischer Hinsicht sehr beachtet zu werden, nämlich dafs die verschiedensten Schallwellen in allen Arten von Körpern neben einander gehn können, ohne sich wechselseitig zu stören, ein Gesetz, welches wir auch bei den Lichtwellen aus den Beobachtungen entnehmen, ja selbst auch die elektrischen sogenannten Strömungen durchkreuzen einander ohne gegenseitige Zerstörung, wonach man diese Bewegungen gleichfalls für wellenartig halten könnte. Nicht blofs durch die Luft verbreiten sich die vielfachsten, den verschiedensten Tönen zugehörigen Schallwellen, wovon die zahlreichsten Erscheinungen den überzeugendsten Beweis geben, sondern auch feste Körper führen dem Ohre gleichzeitig eine unbestimmbare Menge ungleicher Töne zu.

III. Wahrnehmung des Schalles.

97) Die hierher gehörigen Thatsachen sind im Artikel *Gehör* bereits für den vorliegenden Zweck genügend erörtert worden. Inzwischen mufste dort die Darstellung der Functionen des Ohres insofern mangelhaft bleiben, als diese blofs durch die Kenntnifs der Schallwellen die erforderliche Klarheit erhalten. Aus den bisherigen Untersuchungen ergiebt sich aber, dafs die Thätigkeit der Gehörnerven auf den Eindrücken beruht, welche die bis zum Ohre fortgepflanzten, durch das Paukenfell und die Gehörknöchelchen geleiteten Schallwellen in ihnen erzeugen. Diese wellenartigen Pulsus schlagen oder stofsen also auf ähnliche Weise gegen die Nerven des Ohrs unmittelbar oder, wenn man lieber will, mittelbar durch das sie umgebende Wasser. Die unter den Physiologen streitige Frage, ob der Schall gewöhnlich durch die Gehörknöchelchen oder durch die Luft der Trommelhöhle fortgepflanzt werde,

Digitized by Google

beantwortet Savart[1] auf gleiche Weise, als durch mich geschehn ist. Nachdem er wahrgenommen hatte, dafs gespannte Membranen durch die Schallwellen eines genäherten schallenden Körpers in Schwingung versetzt werden (§. 43), legte er das Paukenfell blofs, liefs es so weit austrocknen, dafs er es mit Sand bestreuen konnte, und erkannte dann aus der hüpfenden Bewegung des letzteren, dafs diese Membrane durch den Schall gleichfalls in Schwingungen versetzt wird[2], die sie dann den mit ihr verbundenen Knöchelchen mittheilt und auf diese Weise bis zu den Gehörnerven fortpflanzt. Wurde das Paukenfell durch die Muskeln stärker gespannt, so waren seine Bewegungen schwieriger, und hierin scheint also ein Mittel gegeben zu seyn, das Ohr für einen stärkern Schall vorzubereiten, um weniger dadurch afficirt zu werden. Auch die Ohrmuschel soll nach Savart in Schwingungen versetzt werden und dadurch den Schall verstärken, was auf jeden Fall durch die in ihren hohlen Räumen eingeschlossene Luft bewirkt wird, aufserdem aber bietet sie den ankommenden Schallwellen, wie deren Richtung auch seyn mag, stets eine geeignete Fläche dar, die dieselben gegen das Paukenfell wirft, um die Intensität des Schalles von der Neigung der gegen das Ohr ankommenden Wellen unabhängig zu machen. Hiernach ist also der Hammer bestimmt, zuerst durch ungleiche Spannung des Trommelfelles dieses gegen zu starke Wirkungen der Schallwellen zu sichern, und demnächst die dem Paukenfelle mitgetheilten Vibrationen bis zum ovalen Fenster fortzuleiten. Diese Ansicht ist sinnreich und hat einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, insofern viele zu empfinden glauben, dafs das Ohr willkürlich auf einen schwachen und starken Schall vorbereitet werden kann, für ganz gewifs läfst sich jedoch die Sache nicht ansehn, da man nicht mit Sicherheit von dem stärkeren Hüpfen des Sandes auf eine gröfsere Intensität der Bebungen schliefsen kann, indem blofs eine weitere Ausdehnung (ich möchte es *amplitudo* nennen) der Bebungen das stärkere Hüpfen des Sandes bedingen könnte. Ein Trommelmelfell z. B. hat stärkere Ausweichungen beim Tönen, als das Gong-Gong, aber die Intensität der Schallwellen ist bei

1 Ann. Chim. Phys. T. XXVI. p. 5. ff.
2 Vgl. Saggio di Padova T. I. p. 419.

Digitized by Google

letzterem gewifs gröfser als bei ersterem. Im Ganzen hat aber die Ansicht Savart's einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich. Aufser der so eben angegebenen Function dient das *Trommelfell* nach Savart, übereinstimmend mit der von mir bereits mitgetheilten Ansicht, dazu, das innere Ohr gegen Einflüsse von aufsen zu sichern, die Paukenhöhle aber hat die Bestimmung, in Verbindung mit der *Eustachischen Röhre* einen Behälter von Luft abzugeben, die bei unveränderter Temperatur und Dichtigkeit eine stets gleichmäfsige Thätigkeit der einzelnen Theile des Gehör-Organs bedingt.

98) Aus der vorgetragenen Theorie des Schalles ist endlich gleichfalls klar, dafs die Fähigkeit des Ohres, die Eigenthümlichkeiten der Töne oder dasjenige, was man ihren Klang nennt (§. 40.), zu unterscheiden, auf dem Eindrucke beruht, welchen die den Ton erzeugenden Hauptschwingungen und die ihn begleitenden Nebenschwingungen der mit dem tönenden Körper verbundenen Theile auf das Gehörorgan hervorbringen. Dafs die Unterscheidung der Töne nach ihrer Höhe auf der Menge der Schwingungen beruhe, wufste man schon lange, allein die Grenze des Gehörs, über welche hinaus der Unterschied der Schwingungsmengen nicht weiter wahrnehmbar sey, hatte man bisher noch nicht genügend ausgemittelt[1]. Insofern es solche Grenzen geben mufs, folgt schon von selbst, dafs die durch die mittleren Schwingungsmengen erzeugten Töne am leichtesten unterschieden werden, was auch mit der Erfahrung im Allgemeinen übereinstimmt und sich auch dabei zeigt, dafs die Künstler allezeit die mittleren Octaven eines Forte-Piano zuerst und dann mit gröfserer Mühe die tiefern und höhern nach diesen vermittelst der Octaven stimmen. Chladni nimmt an, dafs das tiefste C der Orgel-Pedale (C), welchem 32 Vibrationen in einer Secunde zugehören, der tiefste wahrnehmbare Ton sey und dafs in der Regel ein gesundes und geübtes Ohr alle zwischenliegende Intervalle bis zum sechsgestrichenen c (c) unterscheiden könne. So wunderbar und wahrhaft unglaublich hiernach die Fähigkeit des Gehörorgans erscheinen mufs, die auf einem Unterschiede der Vibrationsmengen von 32 bis 16384 beruhenden verschie-

1 Vergl. *Gehör* Bd. IV. S. 1218.

denen Töne zu unterscheiden, so ist doch neuerdings durch Savart[1] erwiesen worden, dafs der Umfang des Gehörs noch weiter reicht, als bis zu den genannten 16384 Doppelschwingungen, die Chladni[2] nicht mit Sicherheit anzunehmen sich getraute. Zuerst fand er, dafs die Longitudinaltöne eines Glascylinders von 159 Millim. Länge und 3 Millim. Durchmesser noch von den meisten Personen gehört wurden, obgleich sie zu etwa 31000 einfachen Schwingungen gehören. Dünnere Stäbe von 150 Millim. Länge, deren einfache Vibrationen 33000 betragen mögen, gaben nicht allezeit einen hörbaren Ton, entweder weil das Ohr ihn nicht zu vernehmen vermochte, oder seine Erzeugung zu schwierig war. Da die transversalen Schwingungen eines Stabes und die longitudinalen einer Luftsäule bei einer so grofsen Zahl nicht füglich genau mefsbar sind, so verfertigte Savart ein Rad mit Zähnen, die bei gleichmäfsiger Umdrehung gegen ein kleines Scheibchen von Holz schlugen und dadurch nach Art der Sirene einen Ton gaben. Hierbei gilt jeder Stofs eines Zahnes mit dem Zwischenraume für eine doppelte Schwingung, und er fand, dafs das Ohr einen Ton von drei bis vier Tausend solcher Vibrationen leicht und deutlich wahrnahm; über diese Zahl hinaus wurde der Ton aber undeutlich. Ein gröfseres Rad jedoch mit nicht mehrern Zähnen, als das erste, was deren nur 400 hatte, aber von 48 Centim. Durchmesser, gab noch bei 10000 Pulsus einen sehr vernehmlichen Ton, jedoch wurde dieser undeutlich bei 12000 bis 15000 Doppelschwingungen. Ein neues Rad von 82 Centim. Durchmesser und 720 Zähnen gab einen vernehmlichen Ton bei 24000 Doppelschwingungen, der zwar undeutlicher war, als bei 15000, aber dennoch sicher hörbar. Savart meint, hierdurch sey die von Wollaston angegebene Grenze der wahrnehmbaren Töne schon überschritten, da nicht blofs er selbst, sondern auch andere diese Töne gehört hätten; allein Wollaston hat diese Grenze gar nicht genau angegeben[3], um sie mit der hier bestimmten zu vergleichen. Ver-

1 Ann. Ch. et Phys. XLIV. p. 337. Poggendorff's Ann. XX. 290.

2 In seiner Akustik S. 34. sagt er, dafs ein Ton von 16384 Vibrationen kaum deutlich hervorgebracht oder vernommen werden könne.

3 Vergl. Bd. IV. S. 1218.

Digitized by Google

muthlich liegt die Grenze der wahrnehmbaren Töne noch weiter, als sie durch die genannten Versuche factisch nachgewiesen ist, aber die Apparate hierzu würden kostbar und schwierig zu handhaben seyn. Um dem Einwurfe zu begegnen, dafs das dünne Blättchen vielleicht einige Zähne überspringe, dürfte es vorzuziehn seyn, bei noch weiter gehender Vermehrung der Schwingung eine vergröfserte Sirene in Anwendung zu bringen.

Eine hiermit verwandte Frage war, wie viele solche Doppelschwingungen erfordert werden, um einen vernehmlichen Ton zu erzeugen. Um hierüber zu entscheiden, verfertigte Savart ein Rad, dessen Zähne ganz oder beliebig viele weggenommen werden konnten, und er fand, dafs bei unveränderter Geschwindigkeit der nämliche Ton auch dann noch gehört wurde, wenn nur zwei Zähne vorhanden waren, wonach also zwei Doppelschwingungen in der erforderlichen Zeit zur Erzeugung des erforderlichen Tones genügen. Da 10000 Doppelschwingungen noch sehr gut vernehmlich und unterscheidbar waren, so folgt hieraus, dafs das Ohr ein Zeitintervall von $\frac{1}{10000}$ einer Secunde zu unterscheiden vermöge; die höhern Töne waren zwar hörbar, konnten aber nicht mehr verglichen werden. Um zu versuchen, wie lange der Eindruck eines Tones daure, unterbrach Savart die Töne dadurch, dafs er einige Zähne aus dem Rade herausnahm, und fand dadurch, dafs allerdings eine Dauer des Eindruckes der Töne vorhanden ist, allein die Gröfse derselben konnte er nicht mit Sicherheit auffinden.

Savart[1] untersuchte bald darauf auch die Frage, welcher tiefste Ton für das Ohr noch wahrnehmbar sey, oder über die Grenze des Gehörs bei abnehmender Menge von Schwingungen. Hierzu bediente er sich eines eisernen Stabes von 2,5 Fufs Länge, 2 Zoll Breite und 6 Lin. Dicke, welcher vermittelst einer auf seine Mitte lothrechten, durch ein Rad bewegten, Axe in einer verticalen Ebene so umgedreht wurde, dafs seine Enden zwischen zwei dünnen, auf dem Gestelle befestigten Bretchen durchgingen, die ihm bis auf 1 Millim. Abstand genähert werden konnten. Hiernach wurde der durch die Enden des Stabes erzeugte Luftstrom bei jedem Durchgange durch die Bretchen unterbrochen oder er stiefs vielmehr gegen dieselben

1 Ann. Chim. Phys. T. XLVII. p. 69. Poggendorff Ann. XXII.

Digitized by Google

so, dafs es schien, als würden die letztern selbst durch die Enden des Stabes getroffen. Bei langsamer Bewegung hörte man blofs diese einzelnen Pulsus, bei schnellerer entstand jedoch ein Ton, aber ein schnarrender, weil man die einzelnen Pulsus mit ihm zugleich hörte. Wurden die Umdrehungen schneller, obwohl der Apparat nicht mehr als etwa 30 Pulsus in einer Secunde gestattete, so nahm die Reinheit des Tones mit dem Aufhören des Schnarrens zu, stets war er aber so stark klingend, dafs er eine Orgel, einen Bafs und sonstige Instrumente im Zimmer stark übertönte. Als Hauptresultat ging hervor, dafs bei 7 bis 8 Schlägen noch ein Ton gehört wurde, welcher also 14 bis 16 einfachen Vibrationen zugehört, und Savart glaubt daher, dafs die Grenze der tiefen und hohen Töne unbestimmbar sey, oder dafs es gar keine zu geben scheine, wenn nur die Eindrücke der Pulsus bei den tiefen lange genug dauern und die Dauer derselben bei den hohen zunehmend vermindert wird[1].

M.

---

1 Die Literatur der Akustik, insbesondere wenn man die Schriften über Musik hinzunimmt, ist ausnehmend weitläuftig und kann hier auf keine Weise ausführlich mitgetheilt werden. Aufser den gelegentlich als Autoritäten bei den einzelnen Untersuchungen genannten Werken erwähne ich noch: Ueber die Musik der Alten viele Abhandlungen in Mém. de l'Acad. des Inscr. T. VIII. p. 27. T. X. p. 111. T. XV. p. 293. T. XVII. p. 31. Roussier sur la musique des Anciens. Par. 1774. Barthelemi Entretiens sur l'état de la musique grécque. Amst. 1777. Burney's Abhandlung über die Musik d. Alten. Uebers. von Eschenburg. Leipz. 1780. Forkel allg. Gesch. d. Musik. Leipz. 1788. T. I. Musicae antiquae Scriptores ed. Meibomii. Amst. 1652. 4. Werke über neuere Musik sind unter andern: Zarlino Institutioni armoniche. Ven. 1558. Mersenni Harmonica. Par. 1635. fol. und Mersenne Harmonie universelle. Par. 1636. Cartesii musicae compendium. Utr. 1650. C. Schottii mechanica hydraulico-pneumatica. Würz. 1657. 4. Kircheri musurgia. Romae 1650. 2 T. fol. Kircheri Phonurgia. Rom. 1673. fol. Menzoli musica speculativa. Bologna 1670. 4. Salmon on musics. Lond. 1672. 8. Malcolm on music. Edinb. 1721. 8. Rameau Traité de l'Harmonie. Par. 1722. 4. Rameau Système de musique. Par. 1726. 4. L. Euler tentamen novae theoriae musicae. Petrop. 1729. 4. Dalembert Elements de musique. Par. 1752. 8. Tartini della vera Scienza dell' armonia. Pad. 1754. 4. Marpurg Anfangsgründe der theoretischen Musik. Leipz. 1757. 4. Marpurg Versuch über die Temperatur. Bresl. 1776. 8. Jamard sur la théorie de la musique. Par. 1768. 8. Kirnberger Kunst des reinen

Digitized by Google

Schatten.

Umbra; Ombre; *Shadow.*

Schatten nennt man allgemein eine theilweise Beraubung des Lichts, in optischer Beziehung, wenn das wirklich vorhandene Licht durch undurchsichtige Körper zurückgehalten wird, bei zeichnender Darstellung aber, wenn durch weniger helle Farben ein solcher Mangel oder nur eine Verminderung des Lichts künstlich nachgebildet wird. Hier kann nur von dem ersteren die Rede seyn, jedoch mufs auch die darstellende Kunst die aus der Optik entnommenen Regeln über die Gestalt und Stärke der Schatten in Anwendung bringen.

Allezeit entsteht also ein Schatten dann, wenn sich ein dunkler Körper zwischen dem leuchtenden und dem erleuchteten befindet, indem jener Zwischenkörper die geradlinig fortgehenden Lichtstrahlen auffängt und blofs die an seinen Grenzen hinstreifenden auf den erleuchteten fallen läfst. Insofern aber das Sehen der Gegenstände blofs durch das von ihnen reflectirte oder ursprünglich ausgehende Licht möglich wird, kann der Schatten nicht selbst gesehn werden, wohl aber die Begrenzung des Lichts, oder vielmehr die durch diese Begrenzung eingeschlossene Fläche, die alsdann diesen Namen erhält. Diese Grenzen müssen aber um soviel leichter wahrnehmbar seyn und der Unterschied zwischen dem Eindrucke, welchen diese und die weniger oder gar nicht beleuchteten Stellen erzeugen, mufs um soviel mehr auffallen, je gröfser die Stärke des Lichts ist; es zeigt sich daher der Schatten im geraden Verhältnisse des ihn erzeugenden Lichts dunkler und wahrnehmbarer. Wird der nämliche Körper von mehreren Lichtquellen gleichzeitig beleuchtet, so mufs der zwischen ihnen befindliche undurchsichtige Körper von jedem leuchtenden einen Theil des Lichts auffangen. Liegen hierbei die leuchtenden Körper mit dem undurchsichtigen nicht in einer geraden Linie, so entstehn mehrere Schatten, und zwar so viele, als leuchtende Körper vorhanden sind. Die erzeugten Schatten

---

Satzes. Berl. 1771. 4. Sulzer's Theorie der schönen Künste. Leipzig 1772. 4 Bde. 8. Das vollständigste und belehrendste Werk über die Harmonie und Tonsetzkunst ist: Gottfried Weber's Versuch einer geordneten Theorie der Tonsetzkunst. 3te Aufl. Mainz 1830 — 32. 4 Bde. 8.

Digitized by Google

können dann jeder einzeln bestehen, oder sich theilweise einander decken, wobei die der einen Lichtquelle zugehörigen Schatten durch eine oder mehrere andere erhellt werden. Mit Rücksicht auf die Lichtstärke der erleuchtenden Körper sind dann die Schatten mehr oder weniger dunkel, und man nennt die gänzliche Entziehung des Lichts Kernschatten, die theilweise aber Halbschatten (*Penumbra;* Pénombre; *Penumbra*). Ein gleicher Erfolg mufs statt finden, wenn der lichtgebende Körper eine gewisse Gröfse hat, indem dann die einzelnen Puncte desselben als ebensoviele Lichtquellen zu betrachten sind, wobei die Ausdehnung der durch allmälige Abstufungen in einander übergehenden ganzen und Halbschatten von der Gröfse des leuchtenden sowohl als auch des dunkeln Körpers und von ihrem gegenseitigen Abstande nebst der Entfernung der beschatteten Fläche abhängt. Da sich alles dieses ohne Schwierigkeit übersehn läfst, so wird es genügen, die Entstehung des Halbschattens nur durch eine Zeichnung anschaulich zu machen. Zieht man von den äufsersten Grenzen des leuchtenden Körpers A die den dunkeln Körper C berührenden Linien $a\alpha'$ und $a\beta$, dann ebenso $b\alpha$ und $b\beta'$, so bezeichnen $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ die im Halbschatten, $\beta\beta'$ aber die im Kernschatten befindliche Fläche, wobei der allmälige Uebergang zum Halbschatten durch theilweise Entziehung des Lichts und von diesem zum Kernschatten von selbst anschaulich wird. Fig. 170.

Ist blofs ein einzelner leuchtender Punct vorhanden, so fallen die von diesem ausgehenden, die Grenze des undurchsichtigen Körpers berührenden Lichtstrahlen auf die beschattete Ebene und erzeugen eine dem undurchsichtigen Körper vollkommen gleiche Figur, vorausgesetzt, dafs eine den leuchtenden und den undurchsichtigen Körper verbindende, bis zur auffangenden Fläche verlängerte Linie auf letzterer lothrecht steht. Man bedient sich dieses Mittels, um durch Bezeichnung der Grenzen des Schattens genaue Figuren des dunkeln Körpers zu erhalten, insbesondere der Profile menschlicher Gesichter (die sogenannten *Schattenrisse*), wobei jedoch zu bemerken ist, dafs die Durchmesser des Körpers und seines Schattens sich verhalten wie $n : n + m$, wenn n den Abstand des leuchtenden Punctes vom undurchsichtigen Körper, m aber den Abstand des letzteren von der beschatteten Fläche be-

Digitized by Google

zeichnet. Dafs hierbei mehrere Lichtquellen unzulässig sind, versteht sich von selbst, auch erwächst eine Veränderung aus der Gröfse des lichtgebenden Körpers, wenn man diesen nicht als einen blofsen Punct betrachten darf. In der Ausübung bedient man sich einer beträchtlich entfernten Kerzenflamme (deren längliche Gestalt jedoch einige Undeutlichkeit erzeugt) und bringt den abzuzeichnenden Körper möglichst nahe an die beschattete Fläche.

Die Gröfse und Gestalt des Schattens werden durch die Gröfse und Gestalt des leuchtenden und des undurchsichtigen Körpers, desgleichen durch die Entfernung und Neigung der auffangenden Fläche bedingt. Alle diese verschiedenen Modificationen einzeln anzugeben würde zu weitläuftig seyn und ist um so weniger nöthig, als jeder vorkommende Fall leicht deutlich wird. Ist der leuchtende Körper kleiner als der dunkle, so wächst der Durchmesser des Schattens zunehmend mit der Entfernung, die ohne auffangende Fläche hiernach unendlich werden kann; der gesammte im Schatten befindliche Raum bildet dann eine abgekürzte Pyramide oder einen abgekürzten Kegel, deren untere Basis sich stets weiter bis ins Unendliche entfernt. Findet das umgekehrte Verhältnifs jener beiden Körper statt, so bildet der Schattenraum ohne auffangende Fläche ein endliches Prisma oder einen endlichen Kegel, aus dessen Gröfse sich die Entfernungen und Gestalten des leuchtenden und dunkeln Körpers finden lassen. Dafs auch hierbei eine unübersehbare Menge von Fällen statt finde, ergiebt sich auf den ersten Blick, und ich begnüge mich daher, nur dasjenige zu erwähnen, was in einiger Beziehung zur Astronomie steht und wovon sich leicht Anwendungen auf das Uebrige machen lassen. Sind beide Körper rund, heifst der Halbmesser des leuchtenden $SA = R$, des dunkeln $CE = r$, die Entfernung $SC = d$ und $CH = l$, so hat man

Fig. 171.

$$R : r = d + l : l,$$

also

$$l = \frac{rd}{R - r}.$$

Ist z. B. der Erdhalbmesser $r = 1$, der Sonnenhalbmesser $R = 112$, die Entfernung der Sonne von der Erde $d = 24000$ Erdhalbmesser, so wird $l = \frac{24000}{112 - 1} = 217$ Erdhalbmesser. Befindet sich der Mond in m, so hat man wieder

$$HC : CE = Hm : mt,$$
$$217 : 1 = 217 - 60 : mt,$$

woraus $mt = \frac{157}{217}$ oder $\frac{8}{11}$ Erdhalbmesser gefunden wird, und da der Mondhalbmesser nur $\frac{3}{11}$ Erdhalbmesser beträgt, so ergiebt sich auch ohne scharfe Zahlenbestimmungen, dafs die Durchschnittsfläche des Schattens hier weit gröfser ist, als die des Mondes.

Ehemals bediente man sich häufig des Schattens zur Messung der Höhen, insbesondere der Erhebungen der Gestirne über den Horizont, und gebrauchte hierbei die Bezeichnungen des geraden und des umgekehrten Schattens. Bezeichnet DE den Durchschnitt einer waagerechten Ebene, BA einen lothrechten dunkeln Körper, S einen leuchtenden, so fällt das Ende des Schattens in C und dieser Schatten heifst der *gerade Schatten* (*Umbra directa*; ombre droite; *Right shadow*). Ist S als ein leuchtender Punct zu betrachten, so begrenzt die Linie SBC den Schatten genau und es ist Fig. 172.

$$AC = AB \text{ Cotang. } ACB \text{ und } AB = AC \text{ Tang. } ACB.$$

Ueberhaupt können alle Theile des Dreiecks trigonometrisch gefunden werden. Ist dagegen DE der Durchschnitt einer verticalen Ebene und BA ein auf ihr lothrechter horizontaler dunkler Körper, so ist SBC die Grenze des Schattens, welcher dann *umgekehrter Schatten* (*Umbra inversa;* ombre verse ou renversée; *Versed shadow*) heifst, auch ist für einen leuchtenden Punct S die Länge des umgekehrten Schattens Fig. 173.

$$AC = AB. \text{ Tang. } B.$$

Um auf die Weise, wie dieses bei den Römern geschah, die Sonnenhöhen zu finden, mufs S als Mittelpunct der Sonne betrachtet werden, und es giebt dann beim geraden Schatten der Winkel ACB, beim umgekehrten der Winkel ABC die Sonnenhöhe, wobei die Länge des dunkeln Körpers bekannt seyn mufs. Heifst nämlich die Sonnenhöhe H, so ist beim geraden Schatten $\frac{AB}{AC} = \text{Tang. H}$ und beim umgekehrten $\frac{AB}{AC} = \text{Tang. H.}$

Die Alten mafsen auf diese Weise die Mittagshöhen der Sonne vermittelst lothrechter Obelisken oder *Gnomons*[1]. Plinius[2] erzählt als Beispiel, dafs am Tage der Nachtgleichen zu Rom

1 Vergl. *Gnomon.* Bd. IV. S. 1607.
2 H. N. L. II. p. 72.

Digitized by Google

der Schatten der Sonne $\frac{1}{9}$ kürzer war, als die Länge des Gnomons, oder $\frac{AB}{AC} = \frac{9}{8} = 1{,}125$. Es ist aber 1,125 nahe gleich Tang. 48° 22′. Zieht man für die Reduction auf den Mittelpunct 16′ ab, so giebt dieses 48° 6′ für die Sonnenhöhe in den Nachtgleichen und von 90° abgezogen die Polhöhe = 41° 54′, mit den neuesten Bestimmungen genau übereinstimmend. Im Ganzen gewährt jedoch diese Methode der Höhenmessungen nur geringe Genauigkeit, weil die Sonne kein leuchtender Punct ist, weswegen der Halbschatten und die Beugung des Lichts grofse Ungewifsheit herbeiführen. Ebendieses ist der Fall bei der vorgeschlagenen Methode, die Höhe irdischer Gegenstände aus dem Schatten zu finden, wenn man bis zur Basis derselben selbst oder nahe an dieselbe kommen kann, weswegen man sich derselben nur bei Thürmen und ähnlichen Gegenständen, nicht füglich bei Bergen bedienen kann. Fig. 172. Für diesen Zweck wird auf einer horizontalen Ebene D E ein Stab a b von bekannter Höhe lothrecht aufgerichtet, und dann mifst man gleichzeitig die Gröfsen A C und a C, die nicht nothwendig in der nämlichen verticalen Ebene liegen müssen, auch kann a b im Puncte C oder sonst willkürlich, selbst auf einer andern Ebene, errichtet werden, wenn nur a E und A E horizontale Ebenen und beide Gröfsen, ebenso wie a b, genau mefsbar sind. Man hat dann

$$ab : ac = AB : AC, \text{ also } AB = ab\,\frac{AC}{ac}.$$

Wenn der leuchtende und der dunkle Körper feststehn, so verändern die Schatten ihren Ort nicht, wird aber einer derselben bewegt, so bewegen sich auch die Schatten, und zwar in gleicher Richtung mit dem dunkeln und in entgegengesetzter mit dem leuchtenden Körper. Bewegt sich ein Mensch beim Scheine der Sonne oder des Mondes, so folgt ihm sein Schatten, auch bewegen sich die Schatten der Gegenstände regelmäfsig nach der regelmäfsigen Bewegung dieser leuchtenden Körper. Trägt jemand ein Licht, so bewegen sich die Schatten der dunkeln feststehenden Körper in entgegengesetzter Richtung. Hieraus und aus der Lage der Ebenen, auf welche die Schatten projicirt werden, erklärt sich das Laufen der Schatten von den durch den Wind bewegten Wolken. Vorzüglich hat man jederzeit die durch die Sonne erzeugten Schatten der Aufmerksamkeit gewürdigt. Steht

Digitized by Google

die Sonne im Horizonte, so sind die Schatten unendlich lang, um Mittag dagegen sind sie am kürzesten; beträgt die Sonnenhöhe 45°, so ist die Länge der geraden und der umgekehrten Schatten der Länge der Körper gleich. Ehemals bezeichnete man in der Geographie die Bewohner der verschiedenen Erdzonen durch die Benennungen: *Einschattige*[1], *Zweischattige*, *Umschattige* und *Unschattige*, die einzeln erläutert und am gehörigen Orte nachzusehn sind. In der gemäfsigten und kalten Zone fallen die Schatten der Körper stets nur nach einer Seite, indem das nördliche oder südliche Azimuth zunehmend wächst, während der vormittägige Schatten eines lothrechten Stiftes sich fortwährend der Mitternachtslinie oder auf der südlichen Halbkugel der Mittagslinie nähert. Wenn aber in der nördlichen Hälfte der heifsen Zone die Sonne eine gröfsere nördliche Abweichung hat, als die Polhöhe des Orts beträgt, so wächst das nördliche Azimuth der Sonne täglich vom Aufgange der Sonne an eine Zeit lang bis zu einer gewissen Gröfse, steht dann still und wird kleiner, indem die Sonne auf der Nordseite des lothrechten Stiftes culminirt. Die Schatten solcher Stifte drehen sich daher (wegen ihrer abnehmenden Länge) des Morgens zuerst gegen Norden, stehn dann still und drehn sich gegen Süden, am Nachmittage geschieht etwas Aehnliches, aber in entgegengesetzter Richtung. Für die Orte in der südlichen Hälfte der äquatorischen Zone findet das Nämliche in entgegengesetzter Richtung statt. Dieses Zurückgehn der Schatten ist von Varenius[2] und Wolf[3] als eine Merkwürdigkeit der heifsen Zone angeführt, von Widder[4] und Kaestner[5] aber ausführlich untersucht worden.

Auch die Gröfse des Halbschattens kann geometrisch gefunden werden, wenn der Durchmesser des leuchtenden Körpers (der Sonne) und die Höhe des schattengebenden Stiftes bekannt sind. Es ergiebt sich hieraus, dafs Sonnenhöhen und überhaupt die Höhen der Gegenstände zur Mittagszeit am besten gemessen werden, wie unter andern La Hire[6] gezeigt

1 S. Bd. III. S. 98.
2 Geographia generalis. Sect. VI. cap. 27. prop. 13.
3 Elementa geographiae math. §. 171.
4 De Solis et umbrae stili retrogradatione. Groning. 1760. 4.
5 Astron. Abh. Erste Samml. Gött. 1772. 8. S. 244.
6 Mém. de Par. 1711. p. 157.

Digitized by Google

hat. Dabei ist jedoch die Unsicherheit zu berücksichtigen, die aus der Beugung des Lichts entsteht, worüber Maraldi[1] die Resultate seiner Versuche mittheilt. Da alle hierher gehörige Aufgaben leicht und von keinem bedeutenden Nutzen für die Anwendung sind, so überhebe ich mich der weitern Verfolgung dieses Gegenstandes[2].

Gefärbte Schatten.

Die bisher betrachteten Schatten sind schwarz, mehr oder minder tief, je nach der gröfsern oder geringern Entziehung des Lichts; es giebt indefs auch gefärbte Schatten[3], deren Färbung man bis zu einer sehr bedeutenden Tiefe bringen kann. Sie haben von jeher grofse Aufmerksamkeit erregt und manche Erklärungen veranlafst, es wird jedoch genügen, von den ältern nur eine kurze Uebersicht mitzutheilen, da aus der Einfachheit und Angemessenheit der richtigen Erklärung die Unhaltbarkeit der übrigen von selbst folgt.

Die am häufigsten vorkommenden gefärbten Schatten sind die blauen, die sich bei der Morgen- und Abenddämmerung zeigen und eine unverkennbare hellere oder dunklere Farbe zeigen, je nachdem die durch ein Kerzenlicht erzeugten Schatten, wenn sie auf eine weifse Fläche fallen, durch mehr oder minder helles Tageslicht erhellt werden. Leonardo da Vinci, der im Anfange des 16. Jahrhunderts lebte, redet zuerst von ihnen[5], indem er beobachtet hatte, dafs die Schatten auf einer weifsen Mauer gegen Abend blau seyen. Nach seiner Meinung, welcher auch Gehler[6] beipflichtet, liegt die Ursache in der Bläue des Himmels, welche den Schatten erhellen soll, während auf die übrigen Theile röthliches Licht von der Sonne fällt. Inzwischen ist diese Hypothese leicht zu widerlegen; sie fällt von selbst weg, wenn man die Bläue des Himmels für eine subjective Farbe hält[6], findet aber darin

1 Ebend. 1723. S. 111. Vergl. Lambert Photometria §. 1218.

2 Eine ausführliche mathematische Construction des Halbschattens giebt Bordoni in Giornale di Fisica cet. T. XV. p. 255.

3 Vergl. Art. *Farben*. Bd. IV. S. 129.

4 Traité de la Peinture. Par. 1651. ch. 328.

5 Wörterb. Th. III. S. 824.

6 *Atmosphäre* Bd. I. S. 504.

Digitized by Google

einen genügenden Gegengrund, dafs kein durch den reinsten blauen Himmel in nach Norden gelegenen Zimmern erleuchteter Gegenstand die geringste blaue Färbung zeigt. Otto v. Guericke[1] erwähnt zuerst die blauen Schatten, die sich bei Kerzenlichte in der Morgendämmerung zeigen, und betrachtet sie als einen Beweis, dafs Weifs und Schwarz Blau erzeugen. Von da an bis 1742 findet man die Sache nicht weiter erwähnt. In diesem Jahre aber, im Monat Juli, beobachtete Büffon[2], als die Sonne roth unterging, der heitere Himmel aber in Westen mit dünnen, gelbrothen Wolken überzogen war, dafs die Schatten der Bäume auf einer weifsen Mauer eine zarte grüne, etwas ins Blaue spielende, Farbe hatten; namentlich war der Schatten einer nur 3 Fufs abstehenden Laube lebhaft grün. Die Erscheinung dauerte 5 Minuten. Am folgenden Morgen, bei gelblichen Dünsten in Osten, waren die Schatten blau und nach 3 Minuten schwarz; am Abende dieses Tages aber zeigten sie sich wieder grün. Nach einer Unterbrechung von sieben Tagen durch trübes Wetter setzte er die Beobachtungen fort, sah aber nur blaue Schatten von verschiedener Tiefe, und bemerkte, dafs so gefärbte Schatten von jedem leicht beobachtet werden könnten, wenn man nur während der Morgendämmerung das von einer Kerzenflamme auf weifses Papier fallende Licht durch einen Finger auffange, welches auch allerdings das einfachste Mittel ist, die Erscheinung wahrzunehmen. Büffon hat hiernach also die grünen Schatten gleichfalls beachtet, dennoch aber berücksichtigte man später fast nur die blauen. Der Abbé Mazeas[3] fand, dafs die zwei Schatten, welche gleichzeitig durch einen dunkeln Körper vom Monden- und Kerzenlichte erzeugt werden, ersterer röthlich, letzterer bläulich gefärbt seyen, betrachtete dieses aber blofs als eine Schwächung des Lichts. Diesen Versuch wiederholte Wilkens[4], weil Bergmann[5] gesagt hatte, eine Charte im Mondschein gebe schwarzen, nicht röthlichen Schatten, und fand, dafs der durch Kerzenlicht erhellte Mondschatten hellbraun, der durch Mondschein erhellte Kerzenschatten aber blau sey. Mel-

1 Exper. nova de Vac. Spat. Amst. 1672. fol. p. 142.
2 Mém. de Paris. 1742. p. 217.
3 Mém. de l'Acad. de Prusse. 1752.
4 Gren. Journ. d. Phys. T. VII. p. 21.
5 Beschreibung d. Erdk. Th. II. S. 20.

VILLE[1] und BOUGUER[2] traten der durch LIONARDO DA VINCI aufgestellten Hypothese bei, und schrieben die bläuliche Färbung der Bläue des Himmels zu, wodurch der Schatten eines Körpers im Tageslichte auf weifsem Papiere beleuchtet würde, wobei ersterer jene Färbung selbst von den Dünsten der Atmosphäre ableitete.

Seit BÜFFON stellte zuerst wieder BEGUELIN[3] zahlreiche Versuche über die blauen Schatten an, dehnte aber seine Untersuchungen nicht auf sonstig gefärbte aus, und blieb daher der eben erwähnten Hypothese gleichfalls treu. Die von BÜFFON wahrgenommene grüne Färbung leitete er von zufällig beigemischten gelben Strahlen ab, vielleicht von einem gelblichen Anstriche der Mauer. Das Blau der Schatten komme zum Vorschein, sobald die Beleuchtung der angrenzenden Stellen schwach genug sey, um den Wiederschein des vom blauen Himmel auf die beschatteten Stellen auffallenden Lichts wahrzunehmen, also bei einem niedrigen Stande der Sonne. Als die Sonne am Abend noch 4° Höhe hatte, zeigte sich der Schatten seines Fingers noch grau, wenn er aber das Papier fast horizontal hielt, dafs die Sonnenstrahlen sehr schief auffielen, erschien das ganze Papier bläulich und der Schatten schön hellblau. Eine Viertelstunde später fing der Schatten an blau zu werden, auch wenn die Sonne senkrecht auf das Papier schien, wenn man dasselbe aber gegen die Erde kehrte, waren die auf die untere Seite fallenden Strahlen nicht blau. Um sehr schöne blaue Schatten zu erhalten, mufste die Sonne nicht höher als 2° stehen, doch fingen sie zuweilen an, eine bläuliche Färbung anzunehmen, wenn die Sonnenhöhe noch 7° betrug. Wird das Sonnenlicht von einem gegenüberstehenden weifsen Hause in ein Zimmer geworfen, so entstehn zu jeder Tageszeit blaue Schatten, wenn nur am Orte des Versuchs ein Theil des blauen Himmels sichtbar ist[4]. Die hier gegebene Erklärung erhielt sehr allgemeinen Beifall, obgleich

1 Edinburgh Essays. T. II. p. 75.

2 Traité d'Optique p. 368.

3 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1767. p. 27.

4 Die letztere Behauptung ist nicht in ganzer Strenge richtig, wohl aber gilt sie für nach Norden gelegene, also schwach beleuchtete, Zimmer, indem das weniger helle Tageslicht das schwächere Licht am Morgen vertritt.

Digitized by Google

ein Ungenannter[1] das richtige Argument entgegenstellte, dafs man Schatten von verschiedenen Farben erhalten könne, so oft Gegenstände von mehr als einem Lichte beleuchtet würden, wenn diese nur ein bestimmtes Verhältnifs der Stärke hätten. Hierdurch, nicht aber durch den Wiederschein vom blauen Himmel, werde also auch der blaue Schatten erzeugt.

Mongez[2] stellte eine grofse Menge Versuche an, um die Ursache der gefärbten Schatten aufzufinden, der er auch sehr nahe kam, ohne jedoch den eigentlichen Grund aufzufinden. Im Allgemeinen leitete er die gefärbten Schatten von einer Zerlegung des Lichts oder einer Schwächung desselben ab, die es hindere, in seinem völligen Glanze zu erscheinen. Die Empfindung der Farben beruhe überhaupt nicht blofs auf der Natur der Lichtstrahlen, sondern werde, eben wie das Urtheil über Gröfse und Entfernung, durch Verhältnisse bestimmt. Die Entstehung der blauen Schatten einer Lichtkerze in der Morgendämmerung rührt nach seiner Ansicht daher, dafs das Papier nicht alles Lichts beraubt, sondern zugleich durch das Licht des blauen Himmels erhellet wird. Werde dann das Licht ausgelöscht, so finde für die gesammte Papierfläche die nämliche Bedingung statt, als vorher für den beschatteten Theil, erscheine dann aber nicht mehr blau. Um dieses zu erklären stellt er den Satz auf, dafs uns alle Körper, sobald nur Lichtstrahlen einer Art zum Auge gelangen, weifs erscheinen. Fallen also blofs rothe Strahlen auf weifses Papier, so erscheint uns dieses dennoch weifs, und eben so halten wir rothe Objecte durch rothe Gläser betrachtet für weifs. Färbung entsteht also überhaupt nur durch den Gegensatz verschiedenen Lichts. Gegen das Sehen des weifsen Lichts beim Vorhandenseyn blofs einer Art farbigen Lichts hat sich Le Gentil[3] bereits erklärt und die Thatsache überhaupt als unstatthaft oder auf Täuschung beruhend angegeben. Letzteres ist allerdings der Fall, und die Ursache liegt eben darin, dafs das Auge allmälig durch den dauernden Eindruck einer jeden

1 Journ. de Phys. 1783. Dec.

2 Ann. de Chim. T. III. p. 131. Daraus in Gren Journ. T. II. p. 142. Vergl. Journ. de Phys. T. XII. p. 127.

3 Ann. de Chim. T. X. p. 225. Daraus in Green Journ. T. VI. p. 165.

Farbe abgestumpft wird, deswegen also durch gefärbte Gläser hauptsächlich nur die Gestalten der Körper bei geringerer Lichtstärke wahrzunehmen pflegt. Die Gegenstände erscheinen daher durch alle gefärbte Gläser nach einiger Zeit blofs minder hell und wegen des anderweitigen durchgehenden Lichts in ihren eigentlichen Farben mit hervorstechender Tiefe derjenigen Färbung, die dem Glase eigen ist. Näher kam Mongez der eigentlichen Erklärung der Sache dadurch, dafs er das Phänomen mit andern, wirklich damit verwandten, in Verbindung brachte, nämlich dafs der Lichtkreis, welcher von der Sonne durch eine Oeffnung in einem rothen seidenen Vorhange auf weifses Papier fällt, grün erscheint, bei einem grünen Vorhange aber roth. Gehler[1] verweiset zwar diese Thatsache als nichts beweisend unter die Classe der zufälligen Farben, aber aus der richtigen Erklärung der gefärbten Schatten geht evident hervor, dafs beide Arten von Phänomenen allerdings zusammengehören.

Eine Reihe interessanter Versuche, wodurch Beguelin's gangbare Hypothese völlig umgestofsen wurde, stellte Rumford[2] an. Unter der grofsen Zahl erwähne ich blofs diejenigen, die zu jener Widerlegung hauptsächlich dienen. Wenn man ein verfinstertes Zimmer durch eine Lichtkerze erhellet, dann einen Fensterladen nur etwa $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ Zoll weit öffnet, so dafs nur wenig Tagslicht hineinfällt, dann die Kerze so stellt, dafs sie mit dem einfallenden Tagslichte einen Winkel von etwa 40° bildet, so erzeugt ein beide Lichtquellen auffangender dunkler Körper auf 2 bis 3 Zoll von ihm abstehendem weifsen Papiere zwei Schatten, einen gelben (gelbrothen) und einen blauen, und zwar ist der des Kerzenlichtes blau, der des Tageslichtes gelb. Nähert man die Kerze mehr, so wird der blaue Schatten tiefer, der gelbe blasser, bleibt die Kerze unverrückt, so entstehn diese Veränderungen auch durch mehr oder minderes Oeffnen des Fensterladens. Rumford hielt es für nicht schwer, die Entstehung des gelben Schattens zu erklären, desto mehr die des blauen; jedoch war er überzeugt, dafs die Ursache nicht in der Färbung des Himmels liegen könne, da die Farbe dann am schönsten zum Vorschein kam,

1 Wörterbuch. Th. V. S. 814.

2 Phil. Trans. 1794. P. 1. p. 107. Gren's N. Journ. T. II. p. 58.

Digitized by Google

wenn das einfallende Tageslicht von ganz weifsem Schnee des benachbarten Daches reflectirt wurde. Gelegentlich erstreckten sich seine Versuche auch auf die subjectiven Farben, und alle Erscheinungen vermochten ihn, zu schliefsen, dafs die Färbung der Schatten nur auf einer Täuschung durch den Contrast oder irgend einer Wirkung anderer umgebender Farben beruhe.

Schon vor geraumer Zeit stellte Prevost[1] die Hypothese auf, die blauen Schatten entständen durch die stärkere Beugung der blauen Lichtstrahlen um die Ränder der undurchsichtigen Körper und sie gingen ins Grüne über, wenn zu ihrer Bläue gelbe Strahlen hinzukämen. Eben diese Hypothese hat später Franz v. Paula Schrank[2] mit einer an Weitschweifigkeit grenzenden Ausführlichkeit darzuthun gestrebt; inzwischen scheint es mir überflüssig, die grofse Zahl seiner angestellten Versuche hier nachzuerzählen, da sie sämmtlich aus der richtigen Theorie leicht erklärt werden können. Hassenfratz[3] stellt eine grofse Menge theils wahrer, theils falscher Thatsachen zusammen, die jedoch nicht genügen, den eigentlichen Grund des fraglichen Problems aufzufinden. Nach ihm soll der blaue Schatten bei gleicher Höhe der aufgehenden Sonne zu Messina violett, zu Paris blau mit einem kleinen Stich ins Grünliche, zu Kopenhagen merklicher grün, zu Petersburg noch mehr und zu Skalholt völlig grün seyn. Ebenso soll er um Mittag an diesen Orten vom Schwarz zum Violett übergehn, beides, wie überhaupt die Färbung der Schatten, eine Folge der Helligkeit des Sonnenlichts und des der Atmosphäre. Mit einer mehr oder weniger genäherten Kerzenflamme, also durch wechselnde Stärke des Lichts, lasse sich diese Erscheinung künstlich nachmachen. Wenn in einem Zimmer mehr Lichtquellen mit dem von der Atmosphäre oder sonstigen Körpern reflectirten Lichte zusammenkommen, so lassen sich alle mögliche Farben der Schatten erzeugen, welche aber im Allgemeinen darauf hinauskommen, dafs Gelb und Blau, Roth und Grün sich wechselseitig hervorbringen. So werden diese beiden Farben der Schatten allezeit wechseln, wenn verschiedene Lichter in einem übrigens dunkeln und kein

1 Journ. de Phys. T. XXIII. p. 402.
2 Münchener Denkschr. 1811. u. 12. S. 293. und 1813. S. 51.
3 Journ. de l'École Polyt. Cah. XI. p. 272.

Digitized by Google

farbiges Licht reflectirenden Zimmer sie hervorbringen, wovon der Grund in der gröfsern oder geringern Menge des verbrennenden Wasserstoffgas liegen soll. Es scheint mir überflüssig, eine ausführliche Prüfung aller dieser verschiedenen Sätze folgen zu lassen.

Es wird genügen, den Inhalt zweier Abhandlungen nur kurz anzugeben, die ausführlich über diesen Gegenstand handeln. Das Resultat der Untersuchungen, welche Zschokke[1] mit Benutzung theils der meisten bisher bekannt gewordenen, theils eigends deswegen angestellter Versuche erhalten hat, kommt im Wesentlichen darauf hinaus, dafs farbiges Licht keinen schwarzen Schatten geben könne, sondern nur einen gefärbten von derjenigen Farbe, welche das Licht haben würde, wenn der Schatten die Farben des Lichts hätte. Es ist dieses jedoch nur eine etwas künstliche Darstellung des Satzes, dafs die Schatten allezeit die complementäre Farbe des sie erzeugenden Lichts haben sollen, wofür sich einige Gründe aus der Erfahrung beibringen lassen; allein das Ganze giebt eigentlich keine wirkliche Erklärung, um so weniger, als bei einer Abstraction von den farbigen Schatten der Ausdruck auf die schwarzen gar keine Anwendung leidet. Trechsel[2] ist auch bereits als Gegner dieser Hypothese aufgetreten und hat die Unzulässigkeit derselben nachgewiesen, die aus einem einfachen Versuche mit Evidenz hervorgeht, wenn man ein dunkles Zimmer mit Brewster's monochromatischer Lampe[3] erhellet und einen durch dieses Licht erzeugten Schatten auf weifses Papier fallen läfst, welcher sonach blau seyn müfste, aber blofs grau ist, weil er wegen geringer Intensität des Lichts nicht tief schwarz seyn kann. Es versteht sich auch von selbst, dafs einfach und ohne Nebenbedingungen die Entziehung des vorhandenen Lichts jeder Art nichts anderes als Nichtlicht, d. h. Schwarz, erzeugen kann. Anderweitige Versuche dieser Art sind jedoch leicht täuschend, weil es schwierig ist, ganz einfaches Licht zu erhalten. Nach Trechsel sind die Farben der Schatten theils subjectiv, theils objectiv,

1 Die farbigen Schatten u. s. w. Arau 1826. 8.

2 Biblioth. univ. T. XXXII. p. 3.

3 Eine gewöhnliche Weingeistlampe, auf deren Docht man einige Krystalle Kochsalz legt.

Digitized by Google

die erstern in Folge der Ermüdung des Auges durch einen stärkern Lichteindruck, die letztern, insofern sie durch die Farbe des Lichts, welches den Schatten erleuchtet, erzeugt werden.

Die gehaltreichste Darstellung dieser Aufgabe ist von Pietro Petrini[1], welcher die bekannten Erfahrungen durch einige neue vermehrt hat. Er stellt folgenden allgemeinen Satz auf: wenn unser Auge zwei Lichtmassen A und B zugleich wahrnimmt, und in A ein farbiger Bestandtheil mit gröfserer Intensität wirkt, als in B, so verschwindet in eben dem Mafse dieser Lichteindruck in B, und bleibt davon nur das complementäre Licht übrig. Als Beispiel wird angeführt, dafs der Schatten eines Würfels auf weifsem Papiere grün wird, wenn man das von rothem Papiere reflectirte Licht auf den Apparat fallen läfst. Diese Erklärung ist ohne Widerrede die richtige, und genügt allen hierüber bekannt gewordenen Erscheinungen. Jeder Nerv ermüdet durch einen lange anhaltenden Eindruck auf denselben und jeder schwächere Eindruck verschwindet oder wird weniger lebhaft empfunden, wenn ein anderer stärker gleichzeitig vorhanden ist. Wenn daher das Auge einen starken Eindruck von einem gewissen farbigen Lichte erhält, so verschwindet diese Farbe aus dem schwächeren weifsen Lichte, welches den Schatten erleuchtet und die entgegengesetzte Farbe wirkt um so lebhafter, wie in den neuesten Zeiten namentlich v. Goethe[2] überzeugend dargethan hat. Hiervon läfst sich leicht eine Anwendung auf die so viel untersuchten blauen Schatten machen, die entstehn, wenn die durch ein Kerzenlicht erzeugten vom Tageslichte erhellet werden, statt dafs die durch das Tagslicht erzeugten durch Kerzenlicht eine gelbröthliche Färbung erhalten. Kerzenlicht ist nicht absolut weifs, sondern hat stets eine gelbröthliche Färbung, weil der gesammte Kohlenstoff in der Flamme nicht zum vollständigen Weifsglühn gelangt, sondern zum Theil nur roth oder rothgelb glüht. In dem die Schatten der Kerzen erhellenden Tagslichte am Morgen und am Abend (denn am hellen Tage ist das Sonnenlicht so stark,

1 Memorie di Mat. e di Fisica della Soc. Ital. T. XIII. p. 11.

2 Zur Farbenlehre Th. IV. p. 27.

Digitized by Google

dafs Kerzen keinen hinlänglich wahrnehmbaren Schatten geben) wird daher die durch die Flamme in vorzüglicher Stärke erzeugte rothgelbe Farbe am wenigsten wirksam seyn, und daher mufs er als Blau erscheinen. Um dieses deutlicher einzusehn, denke man sich im weifsen Tageslichte die rothen und gelben Strahlen oder auch nur die einen von beiden, in Folge ihres geringen Eindrucks fehlend oder geschwächt, also das Gelb und Roth an sich und im Orange, das Gelb im Grün und das Roth im Violett, so bleibt das Blau an sich, im Violett und im Grün (alles dieses blofs in Beziehung auf den Eindruck genommen, welchen das farbige Licht auf das Auge macht), und der Schatten mufs daher in vielfachen Abstufungen, je nach der gröfsern oder geringern Wirksamkeit des farbigen Lichts in der Flamme und dem Tageslichte, blau gefärbt erscheinen. Zugleich sind auch im Tageslichte selbst die gelben Strahlen die stärksten, weswegen das vollkommene Weifs, namentlich beim Papier, der Wäsche, den Wänden u. s. w. leicht ins Gelbliche spielt, und man daher diesen Schein durch einen geringen Zusatz von Blau entfernt, wie mir denn auch die fast unerreichbare blendende Weifse des Schnees auf der unmerklichen bläulichen Färbung zu beruhn scheint, die dem reinen Wasser nach H. Davy eigen ist und sich im Eise kenntlich macht. Wenn also das weifse Papier, auf welches der Kerzenschatten fällt, schwaches Tageslicht mit etwas wenig überwiegendem Gelb und zugleich das rothgelbliche Kerzenlicht reflectirt, durch welches das Auge ohnehin unmittelbar von der Flamme aus afficirt ist, so mufs dasselbe hiergegen unempfindlicher werden und dieser Antheil daher aus dem schwächern, vom Schatten zurückgeworfenen Lichte schwinden, so dafs das blaue Licht hierin überwiegend zum Vorschein kommt.

Dafs die blauen Schatten vorzugsweise häufig beobachtet werden, hat hauptsächlich darin seinen Grund, weil die Bedingungen zu ihrer Erzeugung so oft von selbst gegeben werden; zugleich aber mag auch der Umstand hierbei mitwirkend seyn, dafs das Auge gegen die beiden Farben Gelb und Blau am empfindlichsten ist, indem das Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen, sich wohl ausschliefslich auf Grün und Roth erstreckt[1].

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1423.

Digitized by Google

Es ist jedoch nicht schwer, auch sonstige gefärbte Schatten künstlich zu erzeugen, die ohnehin zuweilen von selbst zum Vorschein kommen. Die Schatten des Tageslichts, durch gelbröthliches Kerzenlicht erhellet, müssen schon in Folge des Gegensatzes in dieser Farbe erscheinen; man nimmt sie am besten wahr, wenn man Morgens oder Abends bei schwachem Lichte von aufsen in ein erleuchtetes Zimmer sieht. Blaue Schatten kann man auch durch blofses Tageslicht von ungleicher Stärke erzeugen. Wenn nämlich gegen Sonnenuntergang die röthlich gelben Strahlen der Sonne schräg gegen eine Wand westlich liegender Zimmer fällt, so erhält man bei etwa 6 bis 10 Fufs Entfernung vom Fenster auf weifsem, horizontal liegendem Papiere vermittelst eines undurchsichtigen Stiftes einen schwarzen Kernschatten und einen schönen blauen Halbschatten. Dieser wird durch die von der Wand reflectirten, seitwärts vom Auge schwach wahrgenommenen gelbrothen Strahlen erzeugt und fällt weg, wenn man diesen den Rücken zuwendet. Fällt in heitern Wintertagen der Schatten gegen Abend auf die Fläche des weifsen Schnees, so ist er schön blau. Sonstige schön und sehr kenntlich gefärbte Schatten erhält man leicht, wenn man Kerzenlicht in einem blofs hierdurch erhelleten Zimmer zum Theil frei, zum Theil durch eine gefärbte Glasscheibe auf weifses Papier fallen läfst und in dem farbigen Theile des Papiers durch einen hinter die Glasscheibe gehaltenen Stift einen Schatten erzeugt, dessen Farbe allezeit die complementäre der Glasscheibe ist, und mehr oder weniger tief erscheint, je nachdem sich der Schatten dem Rande des farbigen Lichts mehr nähert oder mehr davon entfernt. Hierbei giebt eine rothe Scheibe grünen Schatten und umgekehrt eine grüne rothen, eine violette orangefarbenen, eine gelbe blauen und umgekehrt, welches alles aus der angegebenen Theorie nothwendig folgt. Vermittelst des Tageslichts lassen sich diese Erscheinungen gleichfalls, aber minder leicht, hervorbringen.

M.

Digitized by Google

Scheel.

Wolfram, Wolframmetall, Tungsteinmetall; *Schelium, Wolframium;* Tungstène; *Tungstenum.*

Dieses wenig verbreitete Metall findet sich im scheelsauren Kalk (Tungstein), im scheelsauren Eisen- und Mangan-Oxydul (Wolfram) und im scheelsauren Bleioxyd. Es ist stahlgrau von 17,4 spec. Gew., sehr hart und sehr strengflüssig.

Aufser einem braunen *Suboxydul* und einem blauen *Suboxyd* bildet es mit Sauerstoff die *Scheelsäure* (96 Scheel auf 24 Sauerstoff), welche ein gelbes, geschmackloses Lakmus nicht röthendes, nicht im Wasser, fast gar nicht in Säuren, aufser ein wenig in Salz- und Flufssäure lösliches, aber mit Salzbasen zu oft krystallisirbaren Salzen, von denen die des Ammoniaks, Kali's, Natrons und der Bittererde im Wasser löslich sind, verbindbares Pulver darstellt.

Mit weniger Chlor liefert es eine dunkelrothe, schmelzbare, in gelbrothen Dämpfen verflüchtigbare und in Nadeln krystallisirende, mit mehr Chlor aber eine mit gelblicher Farbe verdampfbare und sich in gelbweifsen Krystallschuppen sublimirende Verbindung. Mit weniger Schwefel bildet es ein grauschwarzes, mit mehr ein hellgelbes Pulver.

G.

Scheitelkreis.

Verticalkreis, Verticalcirkel; *Circulus verticalis;* Vertical, Cercle vertical; *Vertical circle.*

Scheitel heifst der obere Theil des Kopfes, metaphorisch der Kopf selbst. Wendet man dieses auf das Himmelsgewölbe an, so heifst der höchste Punct desselben gleichfalls der *Scheitel*, gewöhnlicher in der Astronomie *Zenith*, von welchem aus eine Linie durch den Mittelpunct der Erde, diese als Kugel gedacht, verlängert, auf der entgegengesetzten Seite in den *Nadir* trifft. Der Scheitelpunct des Himmelsgewölbes oder

Digitized by Google

das Zenith, wird also für jeden Punct der Erdoberfläche durch die Falllinie gegeben, wenn man diese in der Vorstellung bis zum Himmelsgewölbe verlängert. Bekanntlich bildet aber die einen Punct der Erdoberfläche berührende, bis an das Himmelsgewölbe gleichfalls verlängerte Ebene, vermöge der scheinbaren Begrenzung derselben durch das Himmelsgewölbe, den Horizont, worauf das Himmelsgewölbe selbst als eine hohle Halbkugel zu ruhen scheint, und der höchste Punct der letztern ist dann der Scheitel oder das Zenith. Alle Halbkreise, die man aus einem Puncte im Horizonte durch den Scheitel bis wieder zum Horizonte, dann durch den Nadir bis wieder zum Anfangspuncte im Horizonte zieht, also alle durch Zenith und Nadir gelegte gröfste Kreise der hohlen Himmelskugel, heifsen Scheitelkreise. Hieraus folgt, dafs sie alle auf dem Horizonte senkrecht stehn und diesen in zwei gleiche Hälften theilen; derjenige aber, welcher durch den wahren Morgen- und Abendpunct geht, heifst der *erste Scheitelkreis* (*Verticalis primarius;* Le premier Vertical; *Prime Vertical*); er schneidet den Mittagskreis in zwei gleiche Hälften und steht auf ihm senkrecht, aber der Mittagskreis selbst ist gleichfalls ein Scheitelkreis. Legt man einen Scheitelkreis durch irgend einen Stern, so dienen die unter diesem bis zum Horizonte befindlichen Theile desselben nach der Kreiseintheilung zur Bestimmung seiner *Höhe,* die auch wohl die Höhe über dem Horizonte genannt wird, die vom Scheitel bis zum Sterne befindlichen Theile aber geben den *Abstand vom Scheitel* oder die *Zenith-Distanz.* Jeder Stern erreicht seine gröfste Höhe, wenn er sich im Mittagskreise befindet.

M.

Scheitellinie.

Verticallinie, lothrechte Linie; *Linea verticalis;* Ligne verticale, Ligne à Plomb; *Vertical Line;* ist die Falllinie der Körper oder diejenige Linie, in welcher die Körper vermöge ihrer Schwere fallen.

M.

Digitized by Google

Schiefspulver.

Pulvis pyrius; Poudre à canon; *Gunpowder.*

Ein inniges Gemenge von Salpeter, Schwefel und Kohle nach einem bestimmten Verhältnisse. Seine Wirksamkeit hängt vorzüglich von der Reinheit des Salpeters, der gröfsern Weichheit und Verbrennlichkeit der Kohle, dem richtigen Verhältnisse und der feinen Mengung der drei Ingredienzien und von der Trockenheit des Pulvers ab. Das gewöhnliche, namentlich in England und Frankreich für das Kriegspulver beobachtete Verhältnifs, nach welchem Salpeter, Kohle und Schwefel gemengt werden, ist das von 75:12,5:12,5; — in Preufsen ist es: 75:13,5:11,5. Diese Verhältnisse, welche nach mehr als hundertjähriger Erfahrung das wirksamste Pulver liefern, stimmen sehr mit dem überein, welches man durch stöchiometrische Berechnung erhält, von dem Grundsatze ausgehend, dafs ein gutes Schiefspulver 1 Mischungsgewicht Salpeter (= 47,2 Kali + 54 Salpetersäure, = 101,2), 3 Kohle (= 3 . 6 = 18) und 1 Schwefel (= 16) enthalten müsse, was in 100 Theilen Schiefspulver 74,85 Salpeter, 13,31 Kohle und 11,84 Schwefel ausmacht. Bei der vollkommenen Zersetzung eines solchen Schiefspulvers, wie sie bei seiner raschen Verbrennung eintritt, vereinigen sich dann die 3 Mischungsgewichte Kohlenstoff mit den 5 Mischungsgewichten Sauerstoff der Salpetersäure und dem 1 M. G. Sauerstoff des Kali's zu 3 M. Gewichten Kohlensäure, die sich nebst dem aus der Salpetersäure frei werdenden Stickstoff in Gasgestalt entwickelt, während sich der Schwefel mit dem Kalium zu Einfachschwefelkalium vereinigt. Der Schwefel nützt daher vorzüglich dadurch, dafs er die Menge des kohlensauren Gases vermehrt, da ohne ihn das Kalium keinen Sauerstoff an die Kohle abgeben und das Kali von der erzeugten Kohlensäure einen grofsen Theil zurückbehalten würde. Wird die Verbrennung durch Feuchtigkeit, beigemengten Sand u. s. w. verlangsamt, so erfolgt wegen geringerer Temperaturerhöhung die Zersetzung der Salpetersäure unvollständiger und es wird auch Salpetergas und Kohlenoxydgas entwickelt. Bei der vollständigen Verbrennung dagegen liefern nach obiger stöchiometrischer Annahme 100 Theile Schiefspulver 10,35 Theile Stickgas, 48,80 Theile kohlensaures Gas und 40,85 Theile Schwefelkalium. Nach

Digitized by Google

Brianchon[1] wiegt 1 Liter Schiefspulver 900 Gramm; dieses liefert also 9. 10,35 = 93,15 Gramm Stickgas und 9. 48,80 = 439,2 Gramm kohlensaures Gas. Bei 0° Temperatur und 0,76 Meter Luftdruck 1 Liter Stickgas zu 1,2609 Gramm und 1 Liter kohlensaurem Gas zu 1,9844 Gramm angenommen, liefert also 1 Liter Schiefspulver 74 Liter Stickgas und 222 Liter kohlensaures Gas, also zusammen 296 Liter Gas bei 0°. Dieser Berechnung kommen directe Versuche ziemlich nahe. 1 Mafs Schiefspulver giebt nach Hawksbee beim Verbrennen 232, nach Robins 244 und nach Salucer 266 Mafs Gas. Aufserdem mufs bei der explodirenden Wirkung des Schiefspulvers noch die hohe Temperatur in Anschlag gebracht werden, welche im Moment der Entzündung nicht blofs den beiden Gasen eine viel gröfsere Elasticität ertheilt, sondern zugleich das Schwefelkalium in Dampf verwandelt. Nimmt man als das Wahrscheinlichste an, dafs ein Mischungsgewicht Schwefelkalium in Gasgestalt einen eben so grofsen Raum einnimmt, wie 1 M. G. Stickstoff, so würde der Dampf des Schwefelkaliums bei 0° gedacht, gleich dem Stickgas zu 74 Liter anzuschlagen seyn, so dafs aus 1 Liter Schiefspulver im Ganzen 370 Liter Gas bei 0° Temperatur erzeugt würden. Wird endlich die Temperatur des brennenden Schiefspulvers etwa zu 800° C. angeschlagen, wo nach Gay-Lüssac's Gesetzen die Elasticität eines Gases 4mal so grofs ist, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schiefspulvers im Moment der Explosion = 4.370 = 1480 Atmosphären. Oder nimmt man gar mit Brianchon die Temperatur zu 2400° an, bei welcher die Gase eine zehnfach gröfsere Ausdehnung erreichen, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schiefspulvers sogar auf 10.340 = 3400 Atmosphären zu setzen. Jedoch ist theils diese Temperaturannahme ohne Zweifel zu hoch, theils mufs die wirkliche Kraft des Schiefspulvers immer unter der berechneten bleiben, weil die Verbrennung desselben nicht ganz gleichzeitig ist, und daher die ersten Mengen des glühenden Gases sich schon wieder abkühlten, während sich die letzten erzeugen und weil gewöhnlich ein Theil des Pulvers unverbrannt fortgeschleudert wird.

Bei einigen Pulverarten werden die Ingredienzien in etwas abweichenden Verhältnissen gemengt. So ist das in Frank-

1 Journal de Physique T. XCV. p. 221.

Digitized by Google

reich beobachtete Verhältnifs des Salpeters, der Kohle und des Schwefels beim Jagdpulver = 78 : 12 : 10 und beim Sprengpulver = 65 : 15 : 20. Beim Verbrennen des erstern möchte wegen überwiegenden Salpeters neben dem Schwefelkalium auch schwefelsaures und kohlensaures Kali entstehn, bei der des letztern wird sich neben Stickgas und kohlensaurem Gas auch Kohlenoxydgas entwickeln und statt Einfachschwefelkalium Doppelschwefelkalium gebildet werden; es entwickelt mehr Gas, aber weniger Wärme, als das Kriegspulver.

Die Temperatur, bei welcher die Entzündung des Schiefspulvers erfolgt, ist nach Muncke[1] 300°; wird es einer etwas niedrigern Temperatur von höchstens 287° längere Zeit in einem Löffel dargeboten, so verdampft allmälig der Schwefel und der Rückstand, der sich jetzt ohne Entzündung bis zu 312° erhitzen läfst, trennt sich in schmelzenden Salpeter und sich darüber erhebendes Kohlenpulver, welches sich nur langsam oxydirt.

Nach Muncke läfst sich das Schiefspulver durch rasche Erhitzung ebenso gut in Wasserstoffgas, Stickgas, kohlensaurem Gas, Stickoxydul- und Stickoxydgas, wie in atmosphärischer Luft entzünden; desgleichen wenn es in einer Glasröhre eingepreſst und mit Quecksilber bedeckt ist. Dagegen läfst es sich zwar nach Colin und Taillefer, aber nicht nach Muncke im luftleeren Raume zur Explosion bringen. Nach letzterem erfolgt bei höchstens 1 Linie Differenz des Barometerstandes auch bei sehr rascher und starker Erhitzung keine Explosion, sondern der Schwefel verdampft schnell (wahrscheinlich, weil dessen Siedepunct im luftleeren Raum niedriger liegt, als die Temperatur, bei der die Entzündung des Schiefspulvers erfolgt), und der Rest trennt sich dann auch in schmelzenden Salpeter und aufschwingende Kohle, wie beim langsamen Erhitzen des Schiefspulvers an der freien Luft.

Ueber Schiefspulver aus chlorsaurem Kali ist bereits oben[2] gehandelt. Schiefspulver mit salpetersaurem Natron bereitet, hat nach Proust viel weniger Kraft, als das gewöhnliche und wird auch leichter feucht.

In Nordamerica bedient man sich bisweilen eines *gelben*

1 Ueber das Schiefspulver. Marburg 1817.

2 Art. *Kalium*. Bd. V. S. 841.

Digitized by Google

Schiefspulvers, theils zum Laden der Gewehre, theils blofs auf die Zündpfanne. Dieses gelbe Schiefspulver ist *Knallpulver*[1], auf einer Eisenplatte mit gröfster Vorsicht bis zum anfangenden Schmelzen, nicht ganz bis zur Explosion erhitzt, dann gepulvert und in gut verschlossenen Flaschen bewahrt. Es verpufft viel schneller als gewöhnliches Pulver, treibt aber die Kugel nur halb so stark, wegen geringerer Gasentwickelung und wird bald feucht[2].

G.

Schlag, elektrischer.

Elektrische Erschütterung; *Explosio electrica, concussio seu commotio electrica;* explosion ou commotion électrique; *electric shock or electric explosion.*

Wenn die beiden Elektricitäten einer geladenen elektrischen Vorrichtung durch eine leitende Verbindung so vereinigt und zur wechselseitigen Ausgleichung gebracht werden, dafs jene Verbindung wenigstens an einer Stelle noch unterbrochen bleibt, so entsteht bei der Entladung oder bei dem Uebergange beider Elektricitäten an dieser Stelle eine starke Explosion, wobei sich ein lebhafter Funke zeigt, und eben diese Explosion heifst der *elektrische Schlag.* Die Gewalt, das Licht und der Schall sind beim el. Schlage weit stärker als bei dem Funken, welcher aus einem blofs einfach elektrischen Leiter gezogen wird, und kann wenigstens derselbe in dieser Hinsicht durch die dazu passenden Apparate weit höher gesteigert werden, als letzterer. Geschieht die Entladung durch den lebenden menschlichen Körper, oder einen Theil desselben, so verursacht sie eine plötzliche unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, durch welche sie ihren Weg nimmt und eine eigenthümliche unangenehme Empfindung, die sogenannte el. *Erschütterung.*

Bereits unter dem Artikel: *Batterie, elektrische Flasche, geladene, Funke, elektrischer und Leiter, elektri-*

1 S. oben Bd. V. S. 840.

3 Gutrie in Sillim. Amer. Journ. T. XXI. p. 289.

Digitized by Google

sche[1] ist bereits von dem elektrischen Schlage, dem Wesen desselben, den Bedingungen seiner Entstehung, den Gesetzen seiner Abänderungen gehandelt worden, der gegenwärtige Artikel kann also nur als eine Ergänzung vorzüglich in Hinsicht auf jene letztere betrachtet werden.

Will man die beiden Seiten einer geladenen Flasche oder Platte, oder eine Verbindung mehrerer derselben, eine Batterie, durch einen vollkommenen Leiter, z. B. durch einen gewöhnlichen *Auslader*[2], mit einander in Verbindung setzen, so ist es nicht möglich, die beiden Enden des Leiters zugleich in unmittelbare Berührung mit den beiden Seiten der geladenen Vorrichtung zu bringen; denn man mufs doch mit beiden Enden des Ausladers, oder wenn das eine Ende bereits an die eine, z. B. die äufsere Belegung, gesetzt worden ist, mit dem andern Ende gegen die andere Belegung oder den Leiter, der mit ihr in Verbindung steht, zufahren. Während dieses Hinfahrens findet ein Augenblick statt, in welchem das Ende des Ausladers von der Belegung oder den damit in Verbindung stehenden Leiter (dem Knopfe der Flasche u. s. w.) gerade so weit entfernt ist, als zum Durchbruche des Luftzwischenraumes, zur Entladung und damit zur Entstehung des el. Schlages erforderlich ist, welche Entfernung die *Schlagweite* genannt wird. In diesem Augenblicke erfolgt der Schlag, indem nun beide Elektricitäten, die sich vorher gebunden hatten, durch die leitende Verbindung in Beziehung auf die Richtung, nach welcher sie vorher sich anzogen und wechselseitig gebunden hielten, frei werden und sich in das natürliche Gleichgewicht mit einander zu setzen streben. Die leitende Verbindung ist also im Augenblicke der Entstehung des Schlages noch unterbrochen, weil die Elektricität der einen Belegung, von welcher aus die Ladung erfolgt und an welcher ein Theil der Elektricität frei geblieben und mit freier Spannung nach aufsen begabt ist, die Luft durchbricht und in den Leiter übergeht, worauf ein verhältnifsmäfsiger Theil der Elektr. der andern Belegung gleichfalls nach aufsen thätig wird, und so fort, welche successive Vorgänge sich scheinbar im Augenblicke der

1 S. Bd. 1. Abtheil. 2. S. 945. Bd. IV. S. 354. u. S. 599. Bd. VI. S. 156.

2 Vergl. Bd. I. S. 643.

Digitized by Google

Entladung und des el. Schlages zusammendrängen. War die leitende Verbindung an mehrern Stellen unterbrochen, so ist der Erfolg dieser, dafs bei jeder Unterbrechung ein Schlag entsteht, nur müssen, wie kaum zu erinnern nöthig ist, die Theile der Verbindung so nahe an einander seyn, dafs wirklich ein Durchbruch der Elektricitäten durch das nicht leitende Zwischenmittel erfolgen kann. Daher kommt es, dafs im Dunkeln die Glieder einer Kette, welche einen Theil der leitenden Verbindung ausmacht, leuchten, dafs, wenn in die leitende Verbindung Körper gebracht werden, die schlecht leiten und deren Structur fasericht ist, wie z. B. ein Ei oder selbst eine Reihe von mehrern Eiern, die sich berühren, eine elfenbeinerne Kugel, eine Citrone, ein Apfel, eine kleine Melone, durch einen Schlag, den man durch sie gehn läfst, indem man in letztern von beiden Seiten die Drähte des allgemeinen Ausladers hineinsteckt, durch die vielen Funken zwischen den Theilen derselben im Dunkeln leuchtend und durchsichtig scheinen; das Getöse aber, welches man oft bei Schlägen durch eine vielfach unterbrochene Verbindung hört, gleicht bisweilen einer Menge nach einander folgender Laute oder einem Rasseln, wie beim Blitzschlage im Grofsen.

Die *Schlagweite* selbst, in welcher die Entladung und damit der elektrische Schlag zu Stande kommt, kann im Allgemeinen durch die Formel $\frac{T}{L}$ ausgedrückt werden, wo T die freie Spannung derjenigen Belegung, von welcher die Ladung ausgegangen ist, also bei der gewöhnlichen Art zu laden die freie positive Spannung der innern Belegung, und L den Leitungswiderstand in der ganzen Strecke der leitenden Verbindung von einer Belegung zur andern bezeichnet. Es ist eine irrige Ansicht, wenn man sich vorstellt, dafs, weil sich die beiden Elektricitäten eines geladenen el. Körpers binden, der Wirkungskreis von keiner derselben so weit gehn könne, als bei der einfachen Elektricität eines isolirten Leiters, und daher die Schlagweite eines geladenen Körpers immer nur geringer und die Flecken weit kürzer, als die eines gewöhnlichen elektrisirten Leiters seyen. Die Elektricitäten, sofern sie sich wechselseitig binden und so lange sie sich binden, haben überall keinen Antheil an dem ersten Ausbruche der Explosion, die lediglich durch die freie Spannung der El. an der einen

Belegung bestimmt wird. Mit dieser freien Spannung nimmt auch bei sonst unveränderten Umständen in dem Verbindungskreise die Schlagweite zu, und wenn man das Verhältnifs der Kugeln, in welche sich der Zuleiter zur innern Belegung endigt, zu der Kugel des Ausladers, der mit der äufsern Belegung in Verbindung steht, der Gröfse nach eben so günstig macht, wie bei den Funkenziehern, wenn sie aus isolirten Leitern die längsten Funken hervorlocken sollen, so kann man auch einen sehr langen Entladungsschlag hervorlocken. Auch durchbricht der Funken in dem Verhältnisse eine längere Luftschicht, in welchem der Widerstand auf dem übrigen Wege von einer Belegung zur andern geringer ist, wie denn oft bei der Selbstentladung sehr lange Funken von dem Knopfe der Flasche bis durch den ganzen Luftzwischenraum und längs der mehrere Zolle in der Länge betragenden unbelegten Glasfläche aufsen herabfahren. Ebenso kann man den Entladungsfunken sehr verlängern, wenn man zwischen den Knopf der Flasche und die Kugel des Ausladers ein Lichtflamme bringt. Wenn dagegen der Widerstand auf dem Wege von einer Belegung zur andern, z. B. durch häufige Unterbrechung, sehr grofs ist, so findet sogar keine Entladung statt, auch wenn das eine Ende des Ausladers in unmittelbare Berührung mit dem Knopfe der Flasche gebracht wird, während das andere Ende nur in unvollkommene, leitende Verbindung mit der andern Belegung steht.

Der elektrische Schlag durchläuft die ausgedehntesten Verbindungsstrecken dem Scheine nach in einem Augenblicke. Die Versuche, aus welchen dieses Resultat hervorgeht, findet man unter dem Artikel: *Flasche, geladene*[1]. Indessen kann man die Entladung doch im strengern Sinne des Worts keine instantane nennen und durch gewisse Abänderungen in dem Verbindungskreise kann man die Entladung gleichsam für die Beobachtung retardiren und damit ihre Wirkungen modificiren. Dieses zeigen am deutlichsten die Versuche über die Entzündung des Schiefspulvers, die man am sichersten bewirkt, wenn man den Entladungsschlag vermittelst Einbringens einer nafsgemachten Schnur oder einer mit Wasser gefüllten Glasröhre retardirt[2]. Ein Gleiches deuten jene Versuche an, in de-

1 S. Bd. IV. S. 387.

2 Vergl. Bd. IV. S. 393. Bd. VI. S. 178.

Digitized by Google

nen mit Wasser gefüllte Glasröhren mit der gröfsten Heftigkeit zersprengt wurden, wenn die Drähte, die den Schlag durch das Wasser leiteten, nur in einer geringen Entfernung von einander sich befanden, die unversehrt blieben, wenn die Drähte weiter von einander entfernt wurden[1]. Beccaria liefs einen Schlag durch einen Tropfen Wasser gehn, der sich in der Mitte einer *soliden* Glaskugel von zwei Zoll Durchmesser zwischen zwei Drahtspitzen befand und die Kugel wurde mit grofser Heftigkeit zerschmettert.

Werden den beiden Seiten einer geladenen Vorrichtung mehrere leitende Verbindungen dargeboten, so nimmt der Schlag seinen Weg durch diejenige, in der er den geringsten Leitungswiderstand findet. Dieser Widerstand hängt nicht allein von der Länge des Weges, mit welcher er unter sonst gleichen Umständen allerdings in geradem Verhältnisse wächst, sondern auch von der besondern Beschaffenheit der Leiter, ihrem Umfange, der Art ihrer Verbindung mit einander u. s. w. ab, wofür die Gesetze im Artikel *Leiter* bereits ausführlich angegeben sind. Daher nimmt der Schlag nicht allemal den kürzesten Weg, sondern zieht den längern vor, wenn auf diesem eine Verbindung besserer Leiter sich darbietet. Nimmt man z. B. eine Kette in beide Hände und setzt die geladene Flasche so, dafs die äufsere Belegung und der Knopf von den Händen und der Kette zugleich berührt werden, so geht der Schlag fast ausschliefsend durch die Person, wenn die Kette schlaff hängt, dagegen fühlt die Person nach Mafsgabe der Stärke der Ladung nichts oder nur höchst wenig, wenn die Kette straff angezogen wird, weil alsdann die genauere Berührung ihrer Gelenke eine weit vollkommener leitende Verbindung begründet. Nimmt man aufser der Kette noch einen Draht in die Hände, so ist man noch vollkommener gegen jede Erschütterung gesichert. Doch mufs bei Entladung grofser Batterieen ein solcher Draht eine verhältnifsmäfsige Dicke haben, damit der Theil, welchen der menschliche Körper als Leiter übernimmt, ein verschwindender werde, indem derselbe sich nach dem Verhältnisse seines Leitungsvermögens gegen dasjenige des Drahts richtet. Der Widerstand auf dem Verbindungswege zwischen den beiden Belegungen ist überhaupt an denjenigen Stellen

1 G. XXIV. 337.

gröfser, wo die Leiter, welche den Uebergang vermitteln, einander nicht genau berühren, und noch gröfser, wenn der Uebergang durch Leiter von verschiedener Beschaffenheit geschieht und die Elektricität aus einem vollkommneren Leiter in einen schlechtern überzugehn gezwungen ist. Wird der Uebergang z. B. nur ein wenig durch Wasser unterbrochen, obwohl dieses auch ein Leiter ist, so schlägt beim Ausladen ein Funken in dasselbe über und die Gewalt einer Batterieentladung ist dann so heftig, dafs die stärksten Glasgefäfse dadurch zersprengt werden können, selbst wenn das Wasser an der einen Seite einen freien Ausgang hat. Ueberhaupt findet alles dasjenige, was unter dem Artikel *Blitz* über dessen Bahn gesagt worden ist, hier seine Anwendung.

Die *Stärke* oder *Gewalt* des Schlages richtet sich sowohl nach der Quantität von Elektricität, welche bei der Entladung frei gemacht wird, als auch nach der Intensität oder Spannung, welche die El. im Augenblicke der Entladung hat. Im Artikel: *Flasche, geladene,* ist näher auseinandergesetzt worden, dafs die Quantität in einem sehr zusammengesetzten Verhältnisse steht, indem solche von der Gröfse der geladenen Oberfläche, der Dicke des Glases der geladenen Flasche oder Platte, und von der Intensität der Ladung zugleich abhängt. Bei gleicher Intensität der Ladung und Dicke des Glases steht ohne Zweifel die Quantität der Elektricität in geradem Verhältnisse mit der Gröfse der belegten Oberfläche, sofern diese in der Art ihrer Ausdehnung übereinstimmt. Bei Verbindung von mehrern Flaschen von derselben Gestalt und gleicher Glasdicke nimmt also die Quantität der El., wenn jedesmal bis zu derselben Spannung geladen wird, mit der Zahl der Flaschen in ganz geradem, einfachem Verhältnisse zu, doch folgt hieraus nicht, dafs auch die davon abhängigen Wirkungen, wie z. B. Wärmeerzeugung, Schmelzen von Metalldrähten, in gleichem Verhältnisse zunehmen, weil dabei noch andere Factoren mitwirken.

Was den Einfluss der Dicke des belegten Glases betrifft, so ist unter dem Artikel: *Flasche, geladene,* bemerkt worden, dafs nach den Versuchen von Cavendish bei gleicher Gröfse der Belegung und gleicher Spannung die Quantität der Elektricität im umgekehrten Verhältnisse der Dicke des Glases zu stehn scheint, ein Verhältnifs, das jedoch durch das Gesetz

Digitized by Google

der Abnahme der anziehenden und repulsiven Wirkung der El. nach dem Quadrate der Entfernung eine Modification erfahren dürfte.

Was endlich die Intensität betrifft, so steht diese bei gleicher Dicke, Gröfse und Gestalt der belegten Oberfläche in geradem Verhältnisse der Dicke der el. Schichte und also der Quantität, und ist demnach ein Elektrometer gehörig regulirt worden, so kann man rückwärts aus der Gröfse der Intensität stets auch wieder einen Schlufs auf die Quantität machen.

Nach diesen vorläufigen allgemeinen Bemerkungen wollen wir nun die wichtigsten Erscheinungen, die den el. Schlag begleiten, so weit sie noch nicht an andern Orten in Betracht gezogen sind, so wie die davon abhängigen Wirkungen angeben.

Was zuerst die Stärke des Knalles des el. Schlages betrifft, so nimmt derselbe mit der Quantität und Intensität der Elektricität, sowie mit der Begünstigung der Leitung in dem übrigen Verbindungskreise, durch welchen sich die El. nach geschehenem Durchbruche zu bewegen hat, zu. Je dicker der Funke ist, und diese Dicke hängt wesentlich von der Quantität der sich entladenden El. ab, und je schneller er übergeht, um so heftiger ist der Knall, und bei grofsen Batterieen gleicht er bereits dem Knalle einer Pistole. Ein Liebhaber der Physik hat eine besondere Art der Entladung angegeben, wodurch der Knall des Schlages bis zur Stärke einer losgeschossenen Flinte gesteigert wird[1]. Man nimmt 4 bis 6 Platten von sehr dünnem Theeblei, am besten 5 Zoll ins Gevierte, schiebt sie in Falze in einem dazu verfertigten hölzernen Troge, die beiden mittelsten in einer Entfernung von 3 bis 5 Zoll, die übrigen 8 bis 10 Linien von einander. Die äufsern verbindet man durch sehr feine Bleistreifen, welche man in der Mitte der Platten mit Wachs fest klebt; sie müssen so schmal seyn, dafs die Batterie sie zu zerstieben vermag, die beiden innersten ebenso durch Stahldraht, der so stark seyn mufs, dafs er nur in Kugeln schmilzt. Die Kügelchen des geschmolzenen Eisendrahts werden rings umher geschleudert und durchbohren die beiden innern Platten gleich Sieben. Der Dampf, in welchen das Blei zerstiebt, scheint hierbei mit zur Verstärkung der

1 G. XXIV. 343.

Digitized by Google

Explosion beizutragen. Der Knall des el. Schlages wird auch sehr verstärkt, wenn er über der Oberfläche des Wassers und anderer leitender Flüssigkeiten hinfährt. Wird die Explosion retardirt, wie bei der Entzündung des Schiefspulvers, wenn man den Schlag durch eine Wassersäule gehn läfst, so ist der Knall mehr dumpf. Wie beim Blitze scheint die schnelle Zusammendrückung der im Wege befindlichen Luft durch den durchbrechenden Funken und das schnelle Nachdringen der umgebenden Luft in den entstandenen leeren Raum als die eigentliche Ursache dieses Knalles zu wirken. Beim Hinfahren über die Oberfläche des Wassers scheint die Verstärkung von der Erschütterung desselben mit abzuhängen.

Von der grofsen mechanischen Gewalt, welche der el. Schlag ausübt, haben wir oben[1] ein auffallendes Beispiel an jenem Buchsbaumcylinder gegeben, der durch den Schlag einer Batterie in einer solchen Ausdehnung zerrissen wurde, dafs man die zur Ueberwindung der Cohäsion erforderliche mechanische Kraft des Schlages auf 10040 Pfund berechnen konnte, und doch war es nur der Schlag der Taylorschen Batterie von 225 Quadratfufs Belegung. Sehr dicke Glasplatten werden durch den el. Schlag zersprengt, wenn man dieselben unter die Presse des allgemeinen Ausladers bringt, an ihrer untern Fläche einen schmalen Streif von Blattgold oder Blattsilber aufklebt und mit dem Ende desselben die Drähte des allgemeinen Ausladers in Verbindung bringt. Wie dicke Glasröhren gesprengt werden können, wenn man den Schlag durch eine kleine Wassersäule gehn läfst, ist schon oben bemerkt worden. Durch wiederholte Explosionen einer Batterie von 50 Quadratfufs Oberfläche hat man Röhren von verschiedenen Metallen, selbst von Stahl, Bronze und Kupfer, von einer Dicke der Wände von mehrern Linien, die im Lichten von einigen Linien bis anderthalb Zoll variirten, dadurch zerrissen, dafs man sie mit Wasser füllte und durch einen sehr dünnen Bleidraht, der an einer Nadel aufgehängt war, die Explosion gehn liefs, wodurch derselbe nicht blofs geschmolzen, sondern in Dampf verwandelt wurde, der durch augenblickliche Zusammendrückung des Wassers jene Gewalt auf die Wände ausübte.

1 S. *Batterie, el.* Bd. I. S. 948.
2 G. XXIV. 344.

Der el. Schlag äufsert stets da die gröfste Gewalt, wo er auf seinem Wege den meisten Widerstand findet, also bei seinem Durchgange durch unvollkommene Leiter oder Isolatoren und bei seinem Uebergange auf dieselben, wenn diese nicht etwa einen so grofsen Widerstand entgegensetzen, dafs die Entladung gänzlich dadurch gehindert wird. Der Schlag zerschlägt diese Körper, die ihn auf seinem Wege unterbrechen und zerstreut ihre Stücke bisweilen nach allen Richtungen und auf eine solche Art, als ob die Kraft aus dem Mittelpuncte eines jeden dazwischen gesetzten Körpers gekommen wäre. Dieses ist besonders auffallend bei einem Spiele Karten, durch welches man starke Schläge gehn läfst, wo alle Karten durchbohrt werden, das Loch in jeder Karte aber auf beiden Seiten einen erhabenen Wulst hat, gerade so als ob sich die Explosion aus dem Innern eines jeden Blattes nach allen Richtungen verbreitete. Eben so augenscheinlich ist diese Art der Wirkung bei der Selbstentladung einer überladenen Flasche durch die Glaswandung selbst, wo sich in der Mitte der Glasdicke ein ziemlich feines Loch zeigt, von welchem aus trichterförmig nach beiden Seiten sich erweiternd das Glas gleichsam zerrieben und zermalmt ist; doch in keinem gröfsern Umfange als etwa einer bis höchstens zwei Linien im Durchmesser. Singer meint, die unmittelbare Folge des Durchganges einer el. Entladung durch eine Substanz bestehe in einer Ausdehnung oder Entfernung der direct in ihrem Wege befindlichen Partikelchen und in einer daraus folgenden Zusammendrückung derer, die sie umgeben, so dafs gewöhnlich das Resultat einer elektrischen Explosion der Wirkung einer ausdehnenden Kraft gleiche. Indefs scheint es nicht nothwendig zu seyn, eine solche Ausdehnung der Theilchen der Körper selbst anzunehmen, abgesehn von derjenigen, welche von der Elektricität abhängt, sofern sie Wärme erzeugt, sondern die mechanischen Wirkungen einer Explosion lassen sich vielleicht besser begreifen, wenn man die eigene Repulsivkraft der Elektricität als die nächste Ursache ansieht, vermöge welcher die derselben im Wege stehenden Theilchen der Körper nach allen Seiten fortgestofsen werden. Man wird selbst geneigt anzunehmen, dafs hierbei die Elektricität selbst in Masse auftritt, wenn man den beengten Weg des el. Funkens berücksichtigt, und wie unbedeutend diese Masse auch

Digitized by Google

seyn mag, so lassen sich die grofsen mechanischen Wirkungen dennoch durch die aufserordentliche Geschwindigkeit der Bewegung füglich erklären.

Die chemischen Wirkungen des elektr. Schlages werden theils durch die Beschaffenheit der Körper, ob sie mehr oder weniger vollkommene Leiter, Halbleiter oder Isolatoren sind, theils vorzüglich durch ihre chemische Natur mannichfaltig modificirt, haben aber im Ganzen ein gröfseres Interesse für die Chemie als für die Physik.

Ein starker Schlag, durch einen dünnen Streifen Metall oder einen feinen Metalldraht geleitet, macht denselben augenblicklich glühend, oder schmelzt ihn gar, und verwandelt ihn in gröfsere oder kleinere Kügelchen, die nach allen Seiten zerstreut werden oder zerstreut das Metall gänzlich als einen Rauch. Der jedesmalige Erfolg hängt theils von der Beschaffenheit des Metalls, der Länge und Dicke des Drahtes, theils von der Stärke des Entladungsschlages ab. Man spannt, um solche Versuche anzustellen, die Metalldrähte zwischen die beiden Drähte des allgemeinen Ausladers[1], die zu diesem Behuf an ihren Enden mit Löchern versehen sind, durch welche man die Drähte hindurchzieht und sie mittelst dieser Drähte, die in ihren Hülsen verschoben werden können, anspannt. Aus der ersten Reihe von Versuchen, welche VAN MARUM mit einer Batterie von 225 Quadratfufs Belegung anstellte[2], folgte schon, dafs sich die Schmelzbarkeit der Metalle durch die Elektricität gar nicht wie die Schmelzbarkeit derselben durch das gewöhnliche Feuer verhalte, indem sie vielmehr von ihrem verschiedenen Leitungsvermögen für Elektricität abhängt, nach welchem sich die Hitze richtet, welche beim Durchgange des Schlags durch dieselben erzeugt wird. Je geringer dieses Leitungsvermögen, oder je gröfser der Leitungswiderstand, um so gröfser ist diese Hitze und um so schmelzbarer erscheint also das Metall bei sonst gleichen Umständen der Länge und des Durchmessers der Drähte. Die ausführlichere Erörterung dieses Verhältnisses findet sich bereits unter dem Artikel *Leiter*[3]. Die Verhältnisse der Längen von verschiedenen Metalldrähten von gleichem Durchmesser, welche

1 Vergl. Bd. I. S. 645.

2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 16.

3 S. Bd. VI. S. 157 bis 162.

Digitized by Google

durch gleiche Schläge der Batterie geschmolzen wurden, werden durch nachfolgende Zahlen angegeben:

Zinn	Blei	Gold	Eisen	Messing	Kupfer	Silber
12,00	11,96	44,82	40,54	40,87	14,88	11,62.

Von diesen Metallen konnten Eisen, Zinn und Kupfer zu Kügelchen geschmolzen werden, die auf 30 Fuſs und darüber zerstreut wurden und die Zinnkügelchen erhielten sich 8 bis 10 Secunden lang rothglühend. Am weitesten sind wohl diese Schmelzversuche der Metalle in einer zweiten Reihe von Versuchen durch VAN MARUM mit seiner Riesenbatterie von 550 Quadratfuſs Belegung getrieben worden[1]. Während die Batterie von 225 Quadratfuſs Belegung, nach BROOCKS Elektrometer mit 24½ Gran geladen, durch die Entladung 10 Zoll Eisendraht No. 1. von $\frac{1}{20}$ Zoll Durchmesser schmolz und die glühenden Kügelchen weit umher zerstreute, schmolz die Batterie von 550 Quadratfuſs Belegung bis zu derselben Spannung geladen 24½ Zoll eben dieses Drahtes in eben solche Kügelchen. Als dieselbe Ladung von 24½ Gr. auf 36 Zoll dieses Drahtes versucht wurde, so erglühte er in seiner ganzen Länge, wobei die Hälfte desselben ganz blau wurde, der übrige Theil an seiner Oberfläche schwach oxydirt zu seyn schien. Zugleich war der Draht in seiner ganzen Länge mit einem auch am hellen Tage lebhaftem Lichte umgeben, das in der Dunkelheit mehr als einen Zoll im Durchmesser zu haben schien.

Vom Eisendraht No. 16, welcher $\frac{1}{140}$ Zoll im Durchmesser hat, wurden durch dieselbe Ladung sogar 104 Fuſs in unzählige glühende Kügelchen verwandelt und weit umher zerstreut. Von Eisendraht No. 11, von der Dicke von $\frac{1}{110}$ Zoll wurden sehr leicht 60 Fuſs durch eine Ladung von 24 Gr. geschmolzen.

Nach VAN MARUMS Versuchen würde die Länge der geschmolzenen Drähte im geraden Verhältnisse mit der Menge der sich durch den Draht entladenden Elektricität zunehmen, wenn die Intensität der Ladung unverändert bleibt, so daſs also zwei Flaschen von gleicher Oberfläche, bis zu gleicher Spannung geladen, eine doppelt so groſse Länge von dem-

1 Seconde Continuation etc. Haarlem 1795. p. 194. und daraus in G. I. 68.

Digitized by Google

selben Drahte schmelzen sollen, als eine Flasche, und sofort im geraden einfachen Verhältnisse mit der Zahl der Flaschen, oder mit der Gröfse der Belegung.

Diesem Resultate widersprechen Cuthbertsons Versuche[1], so wie auch diejenigen von G. J. Singer[2]. Um die Intensität der Ladung genau bestimmen und sich von der vollkommenen Gleichheit derselben im Augenblicke der Entladung in den verschiedenen Versuchen überzeugen zu können, hat Cuthbertson ein eigenes *Ausladeelektrometer* oder *Balancirelektrometer* erfunden, das nach dem Principe des Elektrometers von Broock[3] eingerichtet ist, bei welchem eine mit ungleichem Gewichte sich herabsenkende Kugel durch die Elektricität der inneren Belegung bei einem hinlänglichen, aber wenn das aufgelegte Gewicht nicht verändert wird, bei einem stets gleichen Grade der Spannung so weit abgestofsen wird, dafs eine Kugel am entgegengesetzten Hebelarme auf einen Pfeiler herabsinkt, und hierdurch die Verbindung mit der äufsern Belegung herstellt.

In den Versuchen, welche Cuthbertson über das Schmelzen der Drähte anstellte, wurden diese Drähte vermittelst kleiner Zangen zwischen diese Säule und den Leiter nach der äufsern Belegung in den Strom der El. gebracht, wobei also die Spannungen oder die Stärke der Ladungen für zusammengehörige Versuche einander genau gleich oder unter sich vergleichbar waren. Aus solchen Versuchen glaubte Cuthbertson den Schlufs ziehn zu können, dafs die schmelzende Wirkung auf Metalldrähte wie das *Quadrat der Quantität* der El. wachse, die sich auf einmal hiedurch entladet, indem zwei Flaschen zu irgend einem Grade geladen, einen Draht schmelzen, der viermal länger war als der, den eine von ihnen schmolz, und eben so wurde diese Wirkung vervierfacht, als er einer Flasche die doppelte Ladung gab, welche Versuche zugleich zeigten, dafs irgend eine gegebene Quantität der El. eine und dieselbe Drahtlänge schmelzt, sie mag auf zwei oder nur auf einer Flasche gesammelt seyn, die nicht gröfser als

1 G. III. 1.

2 Elemente der Elektricität und Elektrochemie übers. von Müller. Breslau 1819. S. 115. fg.

3 Vergl. *Elektrometer* Bd. III. S. 675.

Digitized by Google

jede der ersten ist. Cuthbertson stellte diese Versuche so an, dafs er z. B. erst zwei Flaschen von gleicher Oberfläche, jede von 168 Quadratzoll, mit dem Elektrometer, das mit 15 Grammen beschwert war, in Verbindung setzte, und da die Kugel H anfing, sich abwärts zu bewegen, die eine Flasche schnell entfernte. So konnte sich nur die eine Flasche entladen, welche genau zwei Zoll Draht schmolz, von welchem beide Flaschen unter denselben Umständen acht Zoll schmolzen. In diesem Versuche hatte Cuthbertson feinen Uhrfederndraht angewandt. Da er bei Wiederholung derselben keine ganz übereinstimmende Resultate erhielt und den Grund davon in dem Ausströmen der El. aus den scharfen Rändern der platten Drähte suchte, wie sie zu den Federn, welche die Unruhe in den Uhren treiben, gebraucht werden, so unterwarf er gewöhnliche Stahldrähte diesen Versuchen. Von einem solchen, dessen Durchmesser $\frac{1}{150}$ Zoll betrug, wurden durch drei der obigen Flaschen 6 Zoll geschmolzen, dagegen von 2 nur zwei Zoll. Vier Flaschen schmolzen 8 und 8½ Zoll, 9 Z. vermochte derselbe Schlag nur in ihrer ganzen Länge rothglühend zu machen. Vierzehn gleiche Flaschen schmolzen von einem Drahte von $\frac{1}{100}$ Zoll 8 Zoll, sieben derselben nur zwei Zoll. Ueber den Einfluss der verschiedenen Spannung bei gleicher Oberfläche stellte Cuthbertson nur zwei Versuche an. Eine Flasche wie die obige, die bei einer Belastung des Elektrometers mit 15 Gr. sich entlud, schmolz 2 Zoll Uhrfederndraht, bei einer Belastung von 30 Gr. schmolz sie dagegen 8 Zoll desselben Drahtes. In Rücksicht auf die Abweichung dieser Resultate von denen van Marum's bemerkt Cuthbertson, dafs letzterer zu seiner irrigen Folgerung dadurch verleitet wurde, dafs theils sein Ausladeelektrometer, das er bei jenen Versuchen gebrauchte, nicht die erforderliche Genauigkeit besessen, theils dadurch, dafs van Marum nicht die sorgfältigste Rücksicht auf Gleichheit der Effecte genommen habe, in welcher Hinsicht eben eintretendes vollständiges Schmelzen den angemessensten Vergleichungspunct abgebe. In Rücksicht auf jene durch Cuthbertson's Versuche ausgemittelte Gesetze macht Biot[1] folgende Bemerkungen.

1 Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von Fechner. 1829. II. Bd. S. 268.

Digitized by Google

Zuvörderst könne es auffallend erscheinen, dafs es gleichgültig für die Wirkung auf den Draht sey, ob dieselbe Quantität der El. sich auf der einfachen oder doppelten Fläche angehäuft findet, da sie doch im ersten Falle eine doppelt so grofse Intensität hat, oder eine Schichte von der doppelten Dicke bildet. Allein man mufs erwägen, dafs beim Durchgange durch den Draht sich beide (gleiche) Quantitäten El., sowohl die auf der einfachen, als auch auf der doppelten Fläche angesammelte, zu einer *gleichen Intensität* concentriren, mithin, sofern die Wirkung von der Intensität abhängt, auch gleiche Wirkung äufsern müssen. Dafs aber die Wirkung auf den Draht nicht im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnisse dieser Intensität wächst, läfst sich sehr leicht unter der Voraussetzung begreifen, dafs die El. eine Flüssigkeit ist, deren Wirkung bei ihrer Bewegung im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Masse und Geschwindigkeit steht. Da nun eine El. von der doppelten Intensität wegen verdoppelter Repulsivkraft zwischen ihren Theilchen auch von selbst eine doppelte Geschwindigkeit erlangen mufs, so erklärt sich hieraus jenes quadratische Verhältnifs von selbst.

Dafs dieses quadratische Verhältnifs für gröfsere Drahtlängen, wie Singer gefunden hat, nicht mehr genau zutrifft, findet darin seine Erklärung, dafs die Drähte der Elektr. bei ihrem Durchgange einen Widerstand entgegensetzen, der mit der Länge der Drähte zunimmt. Dieser Widerstand, der bei geringen Drahtlängen gegen eine starke Ladung nicht sehr in Betracht zu kommen scheint, kann doch seinen Einfluſs sehr merklich ändern, wenn diese Längen zunehmen und dadurch jenes genaue Verhältnifs beeinträchtigen.

Gegen die erstere Behauptung müssen wir jedoch erinnern, dafs die Menge der sich entladenden Elektricität nicht auf einmal in dem Drahte enthalten ist, und sich also auch nicht bei doppelter Quantität zu einer doppelten Intensität concentriren kann, indem jede Entladung als ein successiver Proceſs zu betrachten ist, in welchem die Intensität der sich in solchen Metalldrähten ausgleichenden El. wesentlich von ihrer ursprünglichen Intensität abhängt, und wir zweifeln daher, dafs sich das Gesetz, dafs sich die Länge des geschmolzenen Drahtes bei gleicher Intensität wie das Quadrat der Belegung verhalte, bei mannichfaltig abgeänderten Versuchen bestätigen

Digitized by Google

werde. Sind die Metalldrähte, durch welche man den elektr. Schlag durchleitet, schlaff, so werden sie dadurch, wenn die Hitze nicht bis zum Schmelzen geht, in die Dicke ausgedehnt und dabei verkürzt. So verkürzte VAN MARUM einen Eisendraht von 18 Zoll Länge und $\frac{1}{33}$ Zoll Dicke um mehr als $\frac{1}{4}$ Zoll, indem er nur einen einzigen Schlag hindurch leitete. Aehnliche Resultate erhielt NAIRNE[1]. Dagegen findet man, dafs durch Gewichte gespannte Drähte durch den el. Schlag sich vielmehr verlängern.

Eine interessante Beobachtung VAN MARUM's bei diesen Versuchen über Glühen und Schmelzen von Eisendrähten ist, dafs wenn, wie sich dieses öfters ereignet, nur ein Theil derselben geschmolzen wird, dieses nur mit demjenigen Theile geschieht, der mit den innern (positiven) Belegen der Batterie in Verbindung steht, während der nach dem negativen Belege hingerichtete ungeschmolzen bleibt.

Diese Erfahrung schliefst sich unmittelbar an eine bereits erwähnte[2] an, welcher zufolge der positive Pol einer Volta'schen Säule in Flüssigkeiten auf seiner Seite eine gröfsere Erhöhung der Temperatur hervorbringt, als der negative Pol auf seiner Seite, zum Beweise, dafs in den oben angeführten Versuchen VAN MARUM's es nicht etwa die freie Spannung auf der innern Belegung war, welche der positiven El. das Uebergewicht in der Wärmeerzeugung ertheilte.

Wird das Metall, durch welches man den Schlag durchgehn lassen will, als Streifen oder Draht zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen, so treibt der Schlag das geschmolzene Metall in das Glas und vereinigt es so fest mit demselben, dafs man es nachher nicht wieder davon abtrennen kann, ohne einen Theil des Glases mit hinwegzunehmen. Auf diese Weise lassen sich Streifen von Blattgold mit schöner Purpurfarbe in Glas einschmelzen, wenn man die Glasstreifen, zwischen welchen sich dasselbe befindet, unter die Presse des allgemeinen Ausladers bringt. Doch zerspringen dieselben auch leicht, wenn der Schlag zu stark oder der Streifen Gold zu schmal ist, und also eine zu unvollkommene Leitung gewährt.

Sind die nöthigen Bedingungen zur Oxydation vorhanden

1 Lichtenbergs Magazin I. 2tes St. S. 22.

2 S. Art. *Galvanismus* Bd. IV. S. 930 u. 931.

Digitized by Google

und hat der elektrische Schlag eine hinlängliche Stärke, so ist mit der Schmelzung des Metalls häufig auch Oxydation verbunden, und sehr dünne Drähte verwandeln sich auch gänzlich in Oxyd. Um die Verschluckung des Sauerstoffs hierbei augenscheinlich zu machen, kann man den Versuch so anstellen, dafs man die Metalldrähte in einen Glascylinder zwischen zwei Haken ausspannt. Wenn dieser Cylinder dann mit einem Hahn versehn ist, so kann man ihn mit einer beliebigen Gasart über der Wasser- oder Quecksilberwanne füllen. Bei geschlossenem Hahn läfst man die Explosion durchgehn, und öffnet ihn nach derselben über Wasser oder Quecksilber, um die statt gehabte Luft-Absorption zu untersuchen. Cuthbertson[1] hat seinen Glasrecipienten mit helmförmigen Röhren, wovon die eine Wasser, die andere Quecksilber enthielt, versehn, die gleichsam als Waage dienten. Durch einen Hahn waren sie vom Recipienten abgeschlossen. Nach geschehener Explosion wurde der Hahn geöffnet, und aus dem Steigen des Wassers oder Quecksilbers in dem Schenkel, der sich nach dem Innern des Recipienten öffnete, sowie aus der Höhe dieses Steigens die stattgehabte Absorption und der Grad derselben erkannt. Versuche dieser Art haben vorzüglich Deimann und Paets van Troostwyck[2] gemeinschaftlich und Cuthbertson[3] angestellt. Van Marum wollten sie in solchen Röhren nicht gelingen, da ihm dieselben stets zersprangen. In Rücksicht auf die edlen Metalle stimmen die Resultate der beiderseitigen Versuche nicht ganz überein. Nach den ersteren wurden Drähte von Gold, Platin und Silber dem Schlage einer starken Batterie von 135 Quadratfufs Belegung auch im reinen Sauerstoffgase ausgesetzt, zwar in einen Dunst verwandelt, und der feine Staub, zu welchem sich derselbe verdichtete, hatte zwar alles metallische Ansehn verloren, der des Goldes erschien purpurfarben, der des Platin's lichtbraun, der des Silbers dunkelgrün oder olivenfarbig, es fand aber keine Spur von Luftverschluckung statt, und die ganze Veränderung bestand demnach blofs in einer höchst feinen Zer-

1 G. XI. 400.

2 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen. Leipzig 1790.

3 A. a. O.

Digitized by Google

theilung dieser edlen Metalle. Vermittelst seiner Riesenbatterie verwandelte VAN MARUM einen Platindraht von $\frac{1}{75}$ Zoll Dicke in einen sehr feinen Staub, welcher ähnliche Zeichnungen auf dem Papiere, wie Eisen bildete, und dem Eisenkalke ganz ähnlich war[1]. Vermittelst einer Batterie von blofs 34 Quadratfufs Belegung wollte CUTHBERTSON eine wirkliche Oxydation dieser Metalle erhalten haben. Feiner Silberdraht von $\frac{1}{130}$ Zoll Durchmesser brannte mit einer grünlichen Flamme und zerstiebte in einen schwarzen, unfühlbaren Staub. Golddraht von $\frac{1}{120}$ Zoll Durchmesser zerstiebte in einen unfühlbaren Staub von dunkelbrauner Purpurfarbe, Platindraht endlich von $\frac{1}{130}$ Zoll Durchmesser in einen unfühlbaren schwarzen Staub; da jedoch in allen drei Versuchen das Quecksilber im andern Schenkel der Heberröhre nur wenig stieg, so möchte ich vermuthen, dafs die Metalle nicht in ihrer gröfsten Reinheit angewandt worden waren und dafs die geringe Luftabsorption von dem beigemischten edlen Metalle herrührte. Vom Blei, Zinn, Eisen, Kupfer und Zink ist es durch die Versuche obengenannter Physiker aufser allen Zweifel gesetzt, dafs sie sich in Oxyd verwandeln und Sauerstoff verschlucken. Auch Wismuth und Spiefsglanz wurden oxydirt, und der dicke Rauch, den sie dabei haben, setzte sich als weifse Blumen an darüber gehaltenes Papier an. Dagegen gelang es VAN MARUM nicht, auch durch die stärksten Schläge Zinn oder Zink, oder Silber-Amalgam, oder Quecksilber, letzteres in Glasröhren eingeschlossen, zu oxydiren. Läfst man durch die Metalldrähte in einer geringen Entfernung von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll über Papier ausgespannt die Schläge einer Batterie gehn, so verwandelt sich zwar ein grofser Theil in einen dicken Rauch, ein Theil des gebildeten Oxyds legt sich aber in einer schönen Zeichnung von verschiedener Farbe nach Beschaffenheit des angewandten Metalls auf dem untergelegten Papiere an. VAN MARUM hat in seiner ersten Fortsetzung[2] eine Reihe von colorirten Abbildungen der durch Gold, Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Blei, Zinn und eine Legirung von Blei und Zinn auf dem Papiere hinterlassenen Zeichnungen des daraus abgesetzten Staubes gegeben, welche eine sehr richtige Anschauung

1 G. I. 257.

2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 64.

Digitized by Google

dieser interessanten Producte des el. Schlages gewähren. Alle charakterisiren sich durch eine geflammte Ausbreitung nach beiden Seiten, die sich beim Eisen noch in feine Fäden und Flocken verliert, während beim Zinn die nach beiden Seiten weit zerstreuten glühenden Kügelchen auf dem Papiere Flecken wie Perlenschnüre hinterlassen haben. Auch unter Wasser bewirkte VAN MARUM die Oxydation des Blei's und Eisens, wobei sich das Oxyd als eine Wolke erhob, und einige Luftblasen aus dem Wasser aufstiegen, die sich als brennbares Gas verhielten. Hier fand also eine Wasserzersetzung statt. FUSINIERI's[1] Versuche, welche die Verflüchtigung der Metalle durch den el. Schlag betreffen, würden von einem hohen Interesse seyn, wenn man ihnen vollen Glauben schenken könnte. Er will nämlich beobachtet haben, dafs, wenn er eine wohl polirte Silberscheibe in gleiche Enfernung zwischen zwei Knöpfe brachte, der eine von Gold, welcher mit dem Innern der Batterie, der andere von Silber, welcher mit der äufsern Belegung in Verbindung stand und die Entladung bewirkte, so dafs die El. ihren Weg von dem goldenen Knopfe durch die Silberscheibe nach dem silbernen Knopfe nehmen mufste, auf der Silberscheibe und zwar auf den beiden einander entgegengesetzten Flächen, sich Kreise von Gold zeigten, und zwar schien das hier übergeführte Gold eine gewisse Flüchtigkeit behalten zu haben, denn diese kreisförmigen Flecken von Gold verschwanden nach einiger Zeit. Auch andere Metalle will FUSINIERI auf diese Weise durch die Elektricität verflüchtigt haben, die sie gleichsam durch die Masse der Leiter durchgeführt und auf ihrer Oberfläche abgesetzt haben müfste, und auch die Flecken dieser Metalle sollen nach einiger Zeit wieder verschwunden seyn.

Ich habe diese Versuche mit Flaschen von 4 bis 8 Quadratfufs Belegung, die zu einem hohen Grade von Spannung geladen waren, nach der Anweisung FUSINIERI's wiederholt, aber nichts wahrnehmen können, was eine solche Ueberführung des Goldes verrathen hätte, und glaube daher, dafs hierbei eine Täuschung zum Grunde lag. Indem nämlich der starke Schlag auf die Scheibe von Silber oder von wohl polirtem Kupfer, die ich gleichfalls anwendete und auf welche

1 POUILLET Eléments de Physique. T. II. p. 598. Paris 1827.

Digitized by Google

das Gold sich absetzen soll, überschlägt, erzeugen sich gefärbte Kreise, welche Fusinieri für Flecken des übergeführten Metalls ansehn konnte. In einigen Fällen entstanden auf der Kupferplatte strahlenförmige positive Lichtenberg'sche Figuren.

An diese Versuche reihen sich einigermafsen die von Priestley[1] zuerst angestellten Versuche über die Entstehung von concentrischen Ringen, die die schönsten prismatischen Farben zeigen, wenn man Batterieschläge aus einer feinen Spitze, z. B. eine Nadel, auf eine ebene Metallscheibe überschlagen läfst. Diese Farben entstehn um so schneller, je kleiner der Abstand der Spitze von der Metallfläche ist; auch werden die Ringe um so enger zusammengedrängt erscheinen, während sie im Gegentheil einen um so gröfsern Raum einnehmen, je gröfser der Abstand der Spitze ist. Je feiner und schärfer die Spitze ist, desto zahlreicher sind die Ringe; eine stumpfe Spitze bringt viel breitere Ringe hervor, aber in geringerer Anzahl, und die Farben entwickeln sich später. Bei der Musterplatte von Stahl, welche Priestley der Königl. Societät vorzeigte, betrug der Abstand der feinen Nadelspitze nur $\frac{2}{25}$ Zoll, die Batterie hatte 21 Quadratfufs Belegung, war aber zu keiner hohen Spannung geladen. Das Erste, was man wahrnimmt, ist eine dunkelrothe Färbung, welche den Centraltheil umgiebt, bald darauf, gewöhnlich nach 4 bis 5 Entladungen, fängt man an, eine kreisförmige Stelle von ausgezeichnet blafsrother Färbung zu unterscheiden; diese Stelle dehnt sich während der ganzen Reihe von Schlägen nur wenig aus, aber sie wird nach und nach mit Ringen von allen Farben angefüllt und ihre äufseren Ränder werden bräunlich. Nach einigen neuen Entladungen fängt ein zweiter ringförmiger Raum im Umfange des erstern an sichtbar zu werden, der sich allmälig eben so färbt. Die deutlichsten Farbentinten zeigen sich anfänglich am Umfange des Centrums, sie rücken in dem Mafse, als die Schläge vielfältiger werden, nach dem Kreisumfange des ersten Raumes, um neuen Farben Platz zu machen. Nach 30 bis 40 Entladungen bemerkt man gewöhn-

1 Philos. Transactions. Vol. LVIII. (1768) S. 68 — 74. im Auszuge in den Ann. de Chimie et de Physique. Tome XXXIV. S. 292. übers. in Schweigger's Jahrb. 1827. T. II. p. 166. Vgl. damit Nobili's Bemerkungen ebend. 1828. T. III. p. 69.

Digitized by Google

lich drei deutliche Ringe, die zusammen einen Durchmesser von ¼ Zoll auf Priestley's Musterplatten hatten. Fährt man fort, neue Schläge darauf wirken zu lassen, so verlieren die Farbenringe an Schönheit und Farbenreinheit. Das Rothe herrscht vor und macht die andern Farben durch seine Beimischung mifsfarbig. Alle Erscheinungen verhalten sich gleichmäfsig, wenn die positive Elektricität auch in entgegengesetzter Richtung von der Scheibe nach der Spitze übergeht. Priestley will die Ringe gleich gut auf Gold, Silber, Kupfer, Bronze, Eisen und Blei erhalten haben.

Nobili, der eine Batterie von ungefähr 14 Quadratfufs Belegung anwendete, beobachtete die Farbenringe in einem Raume von 2 bis 3 Linien Durchmesser. Der Mittelpunct war beinahe ausgehöhlt und durchaus mit Puncten und Metallkörnern übersäet, so dafs man eine deutliche Schmelzung des Metalls daran erkennen konnte; die Farbenringe umgeben die kleine Centralhöhlung, aber nur auf dem Kupfer waren sie deutlich und wirklich farbenspielend, demnächst auf dem Stahle, auf dem Silber und Platin waren sie aber nur sehr schwach gefärbt.

In den Versuchen, welche ich selbst mit einer Batterie von 16 Quadratfufs Belegung anstellte, zeigte sich nach 60 Schlägen der Raum von reichlich drei Linien mit Zonen bezeichnet, in der Mitte, der feinen Spitze gegenüber eine kleine Höhlung fast wie ein Punct, um diese ein brauner Fleck wie von Kupferoxyd, dann ein Ring nur von sehr schwachen prismatischen Farben, der von einem schmalen Ringe von sehr schönen prismatischen Farben von innen nach aufsen blau, purpur, orange und gelb eingeschlossen war, dann ein Ring von reinerem Metallglanze, den ein etwas breiterer Ring mit sehr schwachen prismatischen Farben umschlofs.

Priestley verglich diese Erscheinungen mit den Farben, welche die Hitze auf dem Stahle (und auch auf dem Kupfer) hervorbringt. Es dünkt ihm wahrscheinlich, dafs sich hierbei Schichten von verschiedener Dicke bilden, von denen eine jede die Farbe zurückwirft, welche ihr eigenthümlich ist, dafs endlich die Dicke dieser Schichten fortwährend sich verändert, nach Mafsgabe der vervielfachten Anzahl der Schläge. Diese Zurückführung der prismatischen Farbenringe auf die Farben dünner Blättchen ist ohne Zweifel die richtige Erklä-

Digitized by Google

rung. Es verdient aber dabei noch eine besondere Beachtung, dafs wenigstens auf den von mir dargestellten Platten Ringe von unverändertem Metalle mit prismatischen Ringen abwechselnd sich zeigten. Es wiederholen sich also hier ähnliche Erscheinungen, wie bei den Lichtenberg'schen Figuren, abwechselnde positive und negative Zonen.

Wie die Wärme und das Licht nach Verschiedenheit der Intensität ihrer Wirksamkeit und sonstiger Umstände bald Oxydation, und dann auch wieder Desoxydation derselben verbrennlichen Körper (Metalle) bewirken, so bewirkt auch ihrerseits der elektrische Schlag unter veränderten Umständen die Wiederherstellung, Desoxydation derjenigen Metalle, von denen wir oben gesehn haben, dafs ihre Oxydation durch die elektrische Entladung herbeigeführt werde. Die ersten Versuche hierüber stellte Beccaria schon im Jahre 1758 an[1]. Der Graf von Milly trieb diese Versuche noch weiter und wollte durch el. Schläge die Mennige, das Bleiweifs, die Oxyde des Zinns, Zinks und Wismuths reducirt haben[2]. Brisson und Cadet bestritten die Richtigkeit dieser Resultate und behaupteten, die vermeintlich reducirten Metalle seyen nichts anders, als die geschmolzenen metallischen Zuleiter gewesen[3], van Marum hat jedoch durch mit aller Sorgfalt angestellte Versuche die Richtigkeit der Resultate Milly's aufser Zweifel gesetzt[4]. Er brachte die Metalloxyde auf eine Glasplatte zwischen zwei Glasstreifen in einer Strecke von zwei Zollen und bedeckte sie mit einer Glasplatte. Um der Einwendung zu begegnen, dafs das vermeintlich reducirte Metall eigentlich nur das geschmolzene Metall des Zuleiters sey, bediente er sich als Zuleiter der Cylinder von nafsgemachter Leinwand. Das Ganze wurde unter die Presse gebracht, das bedeckende Glas wurde öfters in Stücke zerbrochen. Sowohl in dem rückständigen Oxyde, als auch an den Glasstreifen war das reducirte Metall auf das Deutlichste auch mit den blofsen Augen zu erkennen. Die Batterie, welcher sich van Marum bediente, hatte 225 Quadratschuh Belegung. Es ge-

1 Dell' Elettricismo. Turin 1758. p. 282.

2 Journal de Physique Tome IV. p. 146.

3 Mém. de l'Acad. royale des Sciences. Pour 1775. p. 243.

4 Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem. 1785. p. 184.

Digitized by Google

lang ihm Mennige, Bleiweifs, die Oxyde des Zinks, Zinns, Spiefsglanzes und Eisens wieder herzustellen. Die Reduction des Eisenoxyds war indessen nur spärlich, und nur das metallischglänzende Ansehn, welches die zerbrochenen Glasstücke angenommen hatten, betrachtete VAN MARUM als einen Beweis dafür. Wahrscheinlich war aber die Reduction nicht weiter als bis zum Oxydul gegangen, welches gleichfalls metallisches Ansehn zeigt. Später versuchte VAN MARUM[1], die Wirkung des blofsen Funkens aus dem Conductor seiner mächtigen Maschine. Er füllte zu diesem Ende Glasröhren, welche 14 □Zoll hoch, 0,3 bis 0,4 □Zoll weit waren, deren eines Ende zugeschmolzen und mit einem Platindrahte versehn war, mit dem Oxyde, durch das andere offene Ende wurde ein zweiter Platindraht so weit hineingeführt, dafs er von dem eingeschmolzenen Drahte nur 3 Zoll entfernt war, so dafs in diesem Zwischenraume die Funken durch das Oxyd durchschlagen mufsten. Mennige wurde sehr schnell reducirt, das Blei setzte sich an die Wandungen der Glasröhre an, es entwickelte sich dabei kohlensaures Gas und ein Gas, welches weniger Sauerstoff zu enthalten schien, als die atmosphärische Luft; reducirt wurden ferner Bleiweifs, doch in geringerer Menge, an der Luft bereitetes rothes Quecksilberoxyd sehr schnell, das sich als schwarzes Pulver an die Wände absetzte. Zinnoxyd (Zinnasche) und Eisenoxyd konnten auf diese Weise nicht reducirt werden. PLACIDUS HEINRICH[2] meint, dafs diese beiden gleichsam entgegengesetzten Wirkungen der Oxydation und Desoxydation von ganz verschiedenen Ursachen, letztere nämlich von den beim elektr. Schlage mitwirkenden *Lichte*, erstere von der elektrischen Materie im engeren Sinne abhänge, und dafs daher der el. Schlag nur in so weit das Oxyd reducire, so weit das Licht desselben mit wirke, weswegen bei der ersten Art, wie VAN MARUM die Versuche anstellte, die Reduction nur höchst sparsam war, verglichen mit dem Erfolge bei der zweiten Art den Versuch anzustellen, wo das Licht viel freier auf das Oxyd habe wirken können. Es enthält indessen nichts Widersprechendes, diese scheinbar entgegengesetzten Wirkungen auch blofs von einer gradweise

1 G. I. 274.

2 Die Phosphorescenz der Körper, S. 101. fg.

Digitized by Google

verschiedenen Wirksamkeit der Elektricität abzuleiten. Von der Wärme wenigstens ist es ausgemacht, dafs sie nach ihren verschiedenen Graden bald Oxydation, bald Desoxydation einer und derselben Substanz bewirkt.

Wenn starke el. Schläge über Nichtleiter hingeführt werden, so erscheinen sie dabei als Funken von verschiedener Lichtintensität und Färbung; in den Nichtleitern findet bisweilen eine geringe chemische Zersetzung statt, und es wird häufig eine mehr oder weniger andauernde Phosphorescenz erzeugt. Läfst man einen starken el. Schlag über einen Glasstreifen gehn, indem man die Spitzen der Drähte des allgemeinen Ausladers in einer Entfernung von 2 oder 3 Zoll von einander aufsetzt, so zeigt sich eine Spur des Funkens gewöhnlich als ein zickzackförmiger matter Streif, und dafs hierbei keine blofse mechanische Wirkung durch Trennung der Massentheilchen von einander, sondern eine wirkliche chemische Zersetzung statt findet, beweiset die Wiederherstellung der blauen Farbe des gerötheten nassen Lackmuspapiers, wie Simon gezeigt hat[1]. Diese alkalische Reaction zeigt sich auf dem ganzen Wege des el. Funkens, und die Erscheinung weicht in dieser Hinsicht von den galvanisch-chemischen Zersetzungen ab, wo die entgegengesetzten Substanzen, Säure und Alkali, an den entgegengesetzten Polen zum Vorschein kommen. Ein gleicher Schlag von einer Batterie von 4 Quadratfufs Belegung, über gemeinen Feldspath von blafsrother Farbe geleitet, gab keine Spur von Kali zu erkennen, als aber 10 Quadratfufs Belegung fünfmal über dessen Oberfläche entladen wurden, zeigten sich deutliche Spuren von Kali, doch in geringerem Grade, wie beim Glase. Andere Arten von Feldspath mit Ausnahme des grünen Feldspaths (des sogenannten Amazonensteins), so wie mehrere andere Kali- oder Natronhaltige Fossilien, wie Leucit, Zeolith, auch viele andere harte Fossilien, zeigten keine Spur von chemischer Zersetzung. Dagegen zeigten die kohlensauren und schwefelsauren Kalk-, Baryt- und Strontianarten die deutlichsten Kennzeichen von alkalischer Reaction, ohne dafs jedoch eine Spur einer an irgend einem Puncte freigewordenen Säure entdeckt werden konnte, selbst dann nicht, als Simon die Stelle, über

1 G. XXX. 54.

welche der Schlag hingeführt wurde, mit einem auf der innern Fläche befeuchteten Uhrglase bedeckte, um die etwa in Dampfform verwandelte Säure aufzufangen.

Blättriger grüner Talk gab nach 5 Entladungen von 4 Quadratfuſs Belegung deutliche, nach 5 dergleichen von 10 Quadratfuſs Belegung sehr starke alkalische Wirkung, auch weiſser und grüner Speckstein durch das letztere Verfahren doch nur schwache, die natürliche Bittererde aus Mähren dagegen stärkere. Läſst man über die Oberfläche eines Stücks Kreide, auf welche man die Enden der Drähte des allgemeinen Ausladers aufsetzt, einen starken el. Schlag gehn, so zeigt sich auf dem Wege des Schlages ein Lichtstreifen mit prismatischen Farben, der einige Stunden hindurch anhält. Gleiche Wirkungen werden durch das Ueberschlagen der Entladung auf der Oberfläche anderer Nichtleiter hervorgebracht, allein die Stärke und Farbe, sowie die Dauer des Lichts weichen beträchtlich von einander ab, und läſst man den Schlag durch die Substanz einiger derselben gehn, so werden sie in leuchtende Partikelchen zertheilt, die eine beträchtliche Zeit hindurch ihr Licht behalten. Versuche dieser Art sind zuerst von Lane und Canton[1] angestellt, und nachher von Wilson, Morgan und Skrimshire[2], sowie vorzüglich von Placidus Heinrich[3] fortgesetzt worden. Singer erhielt beim Ueberschlagen des el. Schlages über verschiedene Substanzen nachfolgende Resultate. Natürlicher schwefelsaurer Baryt: hellgrünes Licht; natürlicher kohlensaurer Baryt: eben so, nur weniger glänzend; trockenes essigsaures Kali: glänzend grünes Licht; Bernsteinsäure: ebenso und mehr dauernd; Hutzucker: ebenso; Gypsspath: ebenso, aber vorübergehender; calcinirte Austerschalen: prismatische Farben; eben dieselben mit Schwefel calcinirt: dauerhaft und helles Licht; Bergkrystall: erst rothes, dann weiſses Licht; Quarz: schwach weiſses Licht; Borax: blasses grünes Licht; Boraxsäure: hellgrünes Licht[4]. Placidus Heinrich unterwarf eine grofse Menge Substanzen aus

1 Priestly's Geschichte der Elektricität, übers. von Krünitz S. 139.

2 Nicholson's Journ. XV. 281. XVI. 101. XIX. p. 153.

3 Die Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811.

4 Singers Elemente der Elektricität. S. 129.

Digitized by Google

den unorganischen und den organischen Reichen ähnlichen Versuchen. Er bediente sich dabei blofs einer einzigen Flasche von 160 Quadratzoll Belegung, und will durch Batterieen und wiederholte Schläge keine auffallend verstärkte Resultate erhalten haben. Das allgemeine Resultat aller seiner Versuche war, dafs die Körper in dem gleichem Verhältnisse, in welchem sie schneller und intensiver durch *Bestrahlung* vom Sonnenlichte Phosphorescenz annahmen, auch durch den el. Schlag dieselbe erhielten. Er schreibt daher die ganze Wirkung blofs dem Lichte des el. Schlages zu, und erklärt aus der grofsen Intensität desselben die augenblickliche Hervorrufung der Phosphorescenz, während beim schwächeren Sonnenlichte mehrere Secunden dazu erforderlich waren. Besonders geneigt, solche Phosphorescenz anzunehmen, fand er diejenigen mineralischen Substanzen, die mit einer Säure verbunden sind, die kohlensauren und schwefelsauren Kalk- und Barytverbindungen. Die längst von ihm beobachtete Phosphorescenz betrug bei einem röthlichen Schwefelspathe 8 Minuten.

Auch über die Oberfläche besserer Leiter fährt der el. Schlag in Gestalt eines sichtbaren Funkens hin, und kann auf diese Weise sehr verlängert werden. PRIESTLEY[1] hat hierüber eine grofse Reihe von Versuchen angestellt. Er bemerkte diese Erscheinung zuerst bei einer Schöpsenkeule, über welche der Schlag auch bei einer Entfernung von mehrern Zollen als sichtbare Funken über die Oberfläche hinfuhr. Ebenso auffallend zeigte sich diese Erscheinung beim Wasser, bei verschiedenen animalischen Flüssigkeiten Milch, Eiweifs, Eigelb, selbst bei einer Entfernung der Drähte von 10 bis 12 Zoll von einander. Dabei ist das Licht sehr lebhaft, und der Knall stärker, als beim Durchschlagen durch die Luft, und hat Aehnlichkeit mit dem Knalle einer Peitsche. Ueber die Oberfläche des Vitriolöls fuhr dagegen die el. Entladung mit einem dumpfen Getöse, und einer rothen Farbe. Hält man die Hand unter das Wasser, wenn die Explosion über die Oberfläche desselben hinfährt, so hat man, wenn die Distanz der Drähte nicht zu grofs ist, nur eine schwache oberflächliche Empfindung davon, die aber in eine wahre Erschütterung

1 Geschichte der El. S. 448.

übergeht, wenn die Drähte bei einer Batterie von 5 bis 6 Quadratschuhen 7 Zoll oder mehr aus einander stehn, und in diesem Falle wird der gröfste Theil der Explosion durch das Wasser hindurchgeleitet. Ist die Distanz geringer, so fährt der Funke über die Oberfläche des Wassers hin, auch wenn die Drähte in das Wasser eingetaucht sind, und ihre Entfernung durch Eintauchen in schiefer Richtung unter dem Wasser geringer ist, als an der Oberfläche des Wassers. Gieſst man Wasser auf Quecksilber oder Messing, so nimmt die Explosion auf eine unsichtbare Weise ihren Weg durch die Masse des vollkommenen Leiters, dagegen wird längst einem schmalen und langen Streifen von Blattgold, Blattsilber u. s. w. die Explosion sichtbar als ein hellleuchtender Funke, den man bei Anwendung einer starken Batterie und bei der Ladung zu einer hohen Spannung bis auf mehrere Schuhe verlängern kann, wobei das Blattgold und Blattsilber auf dem Streifen Pappe oder Glas eine der oben bereits beschriebenen Zeichnung hinterläfst. Alle diese Erscheinungen erklären sich aus den verschiedenen Verhältnissen der Leitung unter diesen verschiedenen Modificationen.

Was die Wirkung des el. Schlages auf verschiedene Gasarten und ihre Gemenge betrifft, so kann derselbe hier übergangen werden, da einerseits alle diese Wirkungen auch von dem einfachen el. Funken hervorgebracht werden, andererseits dieselben mehr in das Detail der Chemie gehören.

Die Rolle, welche der el. Schlag in der Sphäre des Magnetismus spielt, indem er in unmagnetischem Stahle magnetische Pole hervorruft, in Magneten den Magnetismus nach Verschiedenheit der Umstände verstärkt oder schwächt, auch die Pole wohl umkehrt, findet ihre nähere Erwägung und Erklärung in den Artikeln, welche sich auf den Elektromagnetismus beziehn.

Es bleibt uns also nur noch übrig, die Wirkungen des el. Schlages auf Thiere und Pflanzen kurz zu betrachten. Jene eigenthümliche würdige Empfindung, welche man die elektrische Erschütterung nennt, und die damit verbundene unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, welche eintritt, wenn der menschliche Körper oder auch nur eins der Glieder in den Verbindungskreis der beiden Belegungen eingeht, und die Entladung durch dasselbe durchgeht, war es vorzüglich, was im

Digitized by Google

Anfange die allgemeine Aufmerksamkeit so sehr auf sich gezogen hatte, und wir verweisen in dieser Hinsicht auf den Artikel *Flasche, elektrische*[1]. Sobald der elektrische Schlag eine grofse Stärke erreicht, nähern sich seine Wirkungen sehr denjenigen des Blitzstrahles, und haben Lähmung und selbst den Tod zur Folge. So tödtete Priestley eine Ratze durch den Schlag von 6 Quadratfufs Belegung, Katzen durch 33 — 38 Quadratfufs; ein Hund ward blind durch einen auf den Kopf gerichteten Schlag aus 62 Quadratfufs belegter Fläche. Kaltblütige Thiere, wie Frösche, können stärkere Schläge ohne besondere Verletzung aushalten. Van Marum[2] stellte mit seiner grofsen Batterie von 550 Quadratfufs Belegung Versuche über die Wirkung des el. Schlages auf die Reizbarkeit des thierischen Körpers an. Dieses geschah bei Aalen, welche einen so hohen Grad von Reizbarkeit besitzen, dafs sie nach abgeschnittenem Kopfe noch mehrere Stunden sich bewegen. Liefs er den el. Schlag durch die ganze Länge eines einen halben Fufs langen Aales gehn, so war er augenblicklich getödtet, und jede Spur von Reizbarkeit vernichtet. Liefs er aber den Schlag bald durch den Kopf, bald durch den Schwanz, bald durch den mittleren Theil des Körpers gehn, so war die Reizbarkeit nur in diesem Theile vernichtet, und der übrige Körper behielt sie vollkommen bei. Hiermit stimmten die Versuche an Kaninchen mit der Entladung von 30 Quadratfufs belegter Fläche völlig überein. Bei dieser die Nervenkraft und die davon abhängige Reizbarkeit der Muskeln lähmenden Einwirkung des el. Schlages kommt es aber wesentlich darauf an, ob der el. Schlag genöthigt wird, mehr in das Innere des Körpers einzudringen, oder ob er mehr nur auf seiner Oberfläche hingeleitet wird. So fand Raschig[3], als er den Schlag aus einer Flasche von zwei Quadratschuh Oberfläche, die bis zum Ausströmen geladen war, durch den Knopf auf den Kopf von Eidechsen leitete, mit deren Schwanze der zur äufsern Belegung führende Draht in Verbindung stand, die Eidechsen zwar erst betäubt und wie todt, sie erholten sich aber bald wieder. Der Knall war in diesem Falle heftig, und ein glänzender Funken fuhr längs der Oberfläche hin.

1 S. Bd. IV. S. 377 und 395.

2 Grens Journal der Physik. VI. 37.

3 G. XXXI. 204.

Digitized by Google

Als Raschig aber dieselbe Flasche nur mäfsig lud, erfolgte bei der Entladung nur ein kurzer, rother Funke, ohne den gewöhnlichen hellen Knall, aber das Thier war und blieb todt. Raschig erinnert hierbei an die heftigsten Blitzschläge, welche, indem sie nur an der Oberfläche des menschlichen Körpers hinfahren, und selbst Metalle schmelzen, nicht tödten, während weniger heftige Schläge, die ihren Weg zum Theil durch das Innere suchen, tödtlich werden. Ganz analog damit sind auch die Versuche über die Entzündung des Schiefspulvers.

Eine ganz ähnliche Wirkung des el. Schlages, wie die auf die Reizbarkeit der Thiere, beobachtete van Marum auch auf die Reizbarkeit der Pflanzen[1]. Eine ganz schwache Ladung, welche durch einen Zweig der Euphorbia lathyris Linn. ging, vernichtete alle Reizbarkeit der Gefäfse so, dafs man nachher nicht das Geringste mehr von Milchsaft ausfliefsen sah, welchen sonst die Pflanze, wenn sie verwundet wird, so häufig von sich giebt. Nairne[2] hatte den el. Schlag einer Batterie von 50 Quadratfufs Belegung durch verschiedene Pflanzen, namentlich durch den Lorbeerbaum und die Myrthe, geführt. Alle Zweige, durch welche der Schlag gegangen war, starben früher oder später ab, je nachdem die Pflanze mehr oder weniger saftreich war, an der Myrthe z. B. erst nach einem Monate einige kleine Zweige in der Krone. Van Marum[3] wiederholte diese Versuche bei abgeschnittenen Zweigen von Weiden, die eben anfingen, Knospen zu treiben. Sie hatten alle Triebkraft verloren, und waren nach einigen Tagen abgestorben[4].

P.

---

1 Brief des Herrn van Marum an den Herrn Ingenhouss in Gren's Journal d. Ph. T. IV. p. 364.

2 Philos. Trans. T. LXIV. p. 1.

3 G. J. 216.

4 Zur Literatur im Ganzen dient: Jos. Priestley's Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität, übers. von Dr. J. G. Krünitz. Berlin u. Stralsund 1772. Martinus van Marum Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem 1785. 4. (Deutsch. Leipzig 1785.). M. van Marum Première Continuation des Experiences etc. Haarlem 1787. 4. (Deutsch. Leipzig 1788.). M. van Marum Seconde Continuation des Expériences etc. Haarlem 1795. 4. (Deutsch. Leipzig 1798.) Beschreibung einer Elektrisirmaschine von J. R. Deimann und

Digitized by Google

Schnee.

Nix; Neige; *Snow.*

Der Schnee gehört zu den Hydrometeoren, oder denjenigen Gebilden der Atmosphäre, bei denen das Wasser die Grundlage ausmacht; er entsteht aus demjenigen Wasser, welches in der Atmosphäre anfangs als Dampf vorhanden ist, dann seine Expansion zum Theil verliert und in Dunst übergeht[1]. Alle übrige Hydrometeore erfordern einen Uebergang des völligen expandirten (durchsichtigen) Wasserdampfes in Dunst, woraus die Wolken bestehn, die Erzeugnisse fallen daher insgesammt aus Wolken herab, aufser gewissen Arten des Schnees, die bei heiterem Himmel als feine Eisnadeln erscheinen, und zwar die Luft etwas trüben, sie jedoch nicht, wie die Wolken, undurchsichtig machen.

Zur näheren Einsicht der Schneebildung scheinen mir die Beobachtungen sehr wichtig, die ich selbst gemacht habe. In einem exantlirten Ballon von feinem englischen Glase liefs ich geringe Mengen von Wasser an einer Seite sich im gefrornen Zustande an die Wandungen anlegen, setzte dann den Ballon auf die Bank eines geöffneten Fensters in einem nicht geheizten, aber dennoch etwas mehr als die äufsere Luft erwärmten Zimmer so, dafs die Eistheilchen nach Innen gerichtet waren. Indem dann die Wärme aus dem Zimmer durch den Ballon nach Aufsen strömte, wurden unsichtbare kleine Partikeln des Eises als Dampf mit fortgerissen, aus denen an der entgegengesetzten Wandung sehr schöne und regelmäfsig krystallisirte Schneeflocken entstanden, die nur sehr lose an der Oberfläche festhingen[2]. Hieraus geht also hervor, dafs die feinen, den Schnee bildenden Eisnadeln unmittelbar aus dem niederge-

---

Paets van Troostwyck. Leipzig 1790. Tiberius Cavallo vollständiger Unterricht von der Elektricität. Vierte Ausgabe. 2 Bände. 8. Leipzig 1797. G. J. Singer Elemente der Elektricität und Elektrochemie, übers. von C. H. Müller. Breslau 1819.

1 Ueber den Gehalt der Atmosphäre an Dampf und Dunst nach dem in diesem Werke angenommenen Sprachgebrauche ist bereits in mehrern Artikeln das Erforderliche gesagt. Vergl. *Regen* Bd. VIII. S. 1212., wo sich zugleich die nöthigen Nachweisungen finden.

2 Physikalische Abhandlungen. Giessen 1816. S. 65.

Digitized by Google

schlagenen Dampfe, ohne einen merkbaren Uebergang zum Dunste, entstehn können.

Die Gestalt des Schnees ist sehr mannichfaltig, von den feinsten Nadeln bis zu dicken Flocken. Sie beruht auf der Krystallform des Eises, die sich an den feinsten Nadeln am deutlichsten zeigt, bei den grofsen Flocken aber am wenigsten kenntlich ist, weil diese aus zu regellos aufgehäuften Theilen bestehn. Ueber die Grundform der Eiskrystalle ist bereits oben[1] gehandelt, und es genügt daher hier blofs nachzuweisen, wie sich dieselbe in den vielfachen Gestalten des Schnees zeigt. Diese haben stets die Aufmerksamkeit der Naturforscher erregt, und schon Keppler[2] untersuchte die regelmäfsigen Figuren des Schnees. Nachher sind sie von Dr. Hooke[3], Engelmann[4], Nehemiah Grew, Dr. Langwith und Nettis[5], Cassini[6], Musschenbroek[7], Lulof[8], Stocke[9], Wilke[10] und andern untersucht, am genauesten und vollständigsten aber von Scoresby[11], welcher nach eigenen Beobachtungen die verschiedenen Arten derselben in Classen gebracht und durch vortreffliche Zeichnungen erläutert hat, die ich der Wichtigkeit der Sache wegen hier vollständig mittheile, da das kostbare Originalwerk ohnehin nur in wenigen Händen sich befindet.

Die regelmäfsigsten Figuren entstehn bei strenger Kälte, und wenn gleich bei den dicken Flocken die eigentlichen Ge-

1 S. *Eis*, Bd. III. S. 106.

2 Strena, s. de nive sexangula. Frkf. 1611. 4. Vergl. Casp. Dornavii Amphitheatrum sapientiae Socraticae. p. 751.

3 Micrographia. p. 88.

4 Het regt Gebruyk der Naturbeschouwingen in een Verhandeling over de Sneefiguren. Haarlem 1747.

5 Phil. Trans. 1723. T. XXXII. 298. Vergl. N. 92 u. 376. T. XLIX. p. 644. Jahr 1756.

6 Mém. de l'Acad. II. 87. X. 25.

7 Introduct. T. II. Tab. 61.

8 Mém. de Berlin. 1740. T. VI. p. 83.

9 Phil. Trans. 1742. T. XLII. p. 114.

10 Schwed. Abhandl. 1761. 3. 89. Journ. de Phys. T. I. p. 106.

11 An Account of the arctic regions, with a History and description of the northern Whale-Fishery. Edinb. 1820. II. T. 8. T. I. p. 425. Dessen Reise auf den Wallfischfang. Uebers. von Kries. Hamb. 1825. S. 95.

Digitized by Google

stalten schwer erkennbar sind, so gewahrt man doch bald mit genügender Sicherheit, dafs die einzeln zusammengefügten Nadeln Winkel von 60° und 120° miteinander bilden. Scoresby ordnet sie sämmtlich in fünf Arten, deren jede vielfache Verschiedenheiten darbietet. Am häufigsten und bei allen Temperaturen in gröfster Menge vorkommend sind:

1) Die blättrigen Krystalle[1], meistens sehr dünn, durchscheinend, und von ausnehmend zartem Baue. Zu ihnen gehören a) die sternförmigen, die mit 6 Spitzen von einem Puncte auslaufen, und eine Menge kleine, in derselben Ebene liegende und mit den gröfseren 60° bildende Spitzen haben. b) Die regelmäfsigen Sechsecke sind gröfser bei mäfsiger Kälte, sehr dünn und zart bei heftiger Kälte und mannichfaltig verschieden, indem weifse Linien sie in andere Hexagone oder sonstige regelmäfsige Figuren zerlegen, wobei sie zugleich von den kleinsten Blättchen bis zur Gröfse von einem Zehntelzoll variiren, wie aus den Zeichnungen ersichtlich ist. c) An diese schliefsen sich die Aggregationen von Hexagonen, die hauptsächlich bei niedrigen Temperaturen von der gröfsten Verschiedenheit der Gestaltung und Gröfse vorkommen, und wovon einige der wichtigsten durch die Zeichnungen dargestellt sind. d) Die Verbindungen von Sechsecken sind oft mit Radien und Spitzen vereint, die in verschiedenen Winkeln gegen einander gerichtet erscheinen. Hieraus entsteht eine kaum übersehbare Mannichfaltigkeit von Gestalten, bei denen die Hauptform zwar in den meisten Fällen deutlich hervortritt, andere sind jedoch offenbar durch Vereinigung und Ueberlagerung mehrerer Krystalle entstanden. Fig. 174. bis 188. Fig. 189. Fig. 190. bis 194. Fig. 195. bis 206. Fig. 207. bis 253.

2) Ein Blättchen oder ein sphäroidischer Nucleus ist mit Spitzen umgeben, die in den verschiedensten Ebenen gegen einander liegen. Sie lassen sich nicht füglich auf der Ebene des Papiers durch eine Zeichnung darstellen, und begreifen ungefähr drei Species in sich, nämlich a) ein Krystall, bestehend aus einem Blättchen, von dessen einer oder beiden Flächen und zugleich von den Kanten mehrere Nadeln ausgehn, die alle eine Neigung von 60° zeigen. Ihr Durchmesser übertrifft zuweilen $\frac{1}{4}$ Zoll, und sie fallen häufig bei einer Temperatur

1 Die kleine Zahl über den Figuren bezeichnet, wie vielfach sie vergröfsert sind.

Digitized by Google

von — 4° bis — 6° C. b) Ein sphärischer Nucleus mit Radien, die nach allen Seiten auslaufen. Beide Species unterscheiden sich dadurch, dafs bei jener der Kern durchsichtig, bei dieser undurchsichtig, ein kleines zusammengesintertes Tröpfchen ist, die Spitzen aber sind bei beiden gleich, auch ist ihre Gröfse nicht sehr verschieden, doch bleibt die letztere etwas gegen die erstere zurück.

3) Feine Spiefse oder sechsseitige Prismen. Sie sind zuweilen sehr zart und krystallinisch, zu andern Zeiten rauh, die feinsten gleichen zu kleinen Endchen geschnittenen weifsen Haaren, erreichen an Länge ¼ Zoll, fallen bei einer Kälte nicht weit unter dem Gefrierpuncte und häufig aus dem Nebel herab, weswegen sie vermuthlich in den niederen Schichten der Atmosphäre erzeugt werden.

4) Sechseitige Pyramiden, eine seltene Art, die Scoresby nur einmal, aber in grofser Menge mit andern Krystallen herabfallen sah. Eine Abart derselben hatte entweder ein Dreieck oder eine diesem ähnliche Figur, wie die Zeichnung an- Fig. 263. giebt, zur Basis.

5) Spitzen oder Prismen, deren Enden im Centrum einer krystallisirten Lamelle festsitzen, die seltenste Art, die Sco- Fig. 254. u. 255. resby nur zweimal in geringer Menge zwischen andern Flocken herabfallen sah, als die Temperatur — 5° bis — 6° war. Die verschiedenen Species dieser und anderer Gattungen sind aus der Zeichnung kenntlich. Fig. 256. bis 269.

Bei allen Arten sind die Figuren oft nicht vollständig ausgebildet, und in einigen Theilen mangelhaft; die vollständigsten und regelmäfsigsten Krystalle erscheinen bei niedriger Temperatur. Ueberhaupt hat die Kälte in Verbindung mit der sonstigen Beschaffenheit der Atmosphäre und der Stärke sowohl als auch der Richtung des Windes einen unverkennbaren Einfluſs auf die Gestaltung und Gröfse der Schneeflocken, wie schon Guettard[1] bemerkte, und Scoresby durch eine Zusammenstellung der Resultate seiner Beobachtungen erläutert hat; es scheinen mir aber die Thatsachen noch nicht genügend zu seyn, um allgemeine Gesetze hierüber aufzustellen. Alle die verschiedenen Gestalten aus der Grundform der Krystalle abzuleiten, wäre eine interessante Aufgabe der Kry-

1 Mém. de Paris. 1762. Vergl. Musschenbroek Introd. §. 2403.

Digitized by Google

stallographie, deren Lösung jedoch einen für den vorliegenden Zweck zu grofsen Zeitaufwand erfordern würde[1].

Es kann der Natur der Sache nach blofs dann schneien, wenn die Temperatur unter dem Gefrierpuncte des Wassers oder nur wenig darüber ist, und im letztern Falle entsteht blofs ein Gemenge aus Schnee und Regen, indem die in der kältern höhern Region erzeugten Flocken zusammensintern, daher aufserordentlich grofs, aber zugleich unregelmäfsig im Gefüge werden, und in den niedrigern Schichten der Atmosphäre zum Theil schmelzen. In der heifsen Zone fällt der Schnee daher nur in beträchtlicher Höhe über der Meeresfläche, z. B. unter der Linie auf der Hochebene von Antisana fällt Schnee in einer Höhe von 12600 Fufs selbst zu 2 bis 3 Zoll hoch, und bleibt zuweilen 5 bis 6 Wochen liegen; im Königreiche Quito unweit Peramos in 11400 Fufs Höhe, wo das Thermometer bei 9° C. mittlerer Temperatur zuweilen auf — 4° herabgeht, fällt gleichfalls Schnee, und die höchsten, bis über die Schneegrenze reichenden Bergspitzen aller Länder haben stets Schnee, wenn es in tieferen Gegenden regnet, weswegen sie auch meistens mit Schnee bedeckt sind. Die Höhe, unter welcher kein Schnee mehr fällt, ist bei der Meierei Pesanche in 11322 F. Erhebung über der Meeresfläche, wo bei den Bergbewohnern die Sitte herrscht, den Fremden, die den ersten Schneefall dort erleben, ein Schneebad zu geben[2].

Der meiste Schnee in mäfsiger Erhebung über der Meeresfläche unter mittleren Breiten fällt aus Wolken, bei trübem Himmel, und wenigen Graden unter dem Gefrierpuncte des Wassers, in der Regel, wenn es nach strengerer Kälte etwas gelinder geworden ist. Hierauf ist das Vorurtheil gegründet, dafs es bei sehr strenger Kälte nicht schneien könne; richtiger dagegen mufs man annehmen, dafs die Luftströmungen, die aus sehr kalten Regionen kommen, eben deswegen sehr arm an Wasserdampf sind. Eine gleichfalls gemeine Behauptung, wonach durch die Bildung des Schnees die zur Expansion des Wasserdampfes dienende Wärme frei werden und die Temperatur steigen soll[3], ist vielmehr dahin zu be-

1 Vergl. Marx über die Krystallform des Eises in Schweigger's Journ. LIV. p. 326.

2 V. Humboldt in Ann. de Chim. T. XIV. p. 37.

3 Gren Grundrifs d. Naturlehre. §. 989.

Digitized by Google

richtigen, dafs der Schnee nur dann aus dem Dampfgehalte der Atmosphäre gebildet wird, wenn kalte und wärmere Luftschichten sich mengen, die Temperatur der entstandenen Mengung dann so weit herabgeht, dafs der Wasserdampf nicht expandirt bleiben, aber auch nicht als Regen herabfallen kann, wonach also nothwendig Schnee gebildet werden mufs. Angenommen, eine Luftmasse von 4° würde mit einer andern von — 10° vereinigt, beide so viel Wasserdampf enthaltend, dafs durch Temperaturverminderung von 1° R. ein Niederschlag entstehn müfste, so würde durch ihre Vereinigung auf gleiche Weise, als für die Bildung des Regens nachgewiesen ist[1], ein wässeriger Niederschlag entstehn, und durch die gleichfalls bis — 3° verminderte Temperatur in Schnee verwandelt werden. Hierin liegt dann auch der Grund, warum es nach dem Schneien sowohl kälter als auch wärmer zu werden pflegt; das erstere, wenn die kalten Luftströmungen die Oberhand erhalten, das letztere, wenn das Gegentheil statt findet. Nicht selten, und unter mittleren Breiten sogar noch häufiger, geht der anhaltende, bei abnehmender Temperatur stets feiner werdende Regen allmälig in gemischten, gröbern und dann erst in feinern Schnee über, welcher anfangs auf dem noch etwas wärmern Erdboden schmilzt, nachher aber sich erhält, und bei zunehmender Kälte mit heiterem Himmel liegen bleibt. Hiermit übereinstimmend ist die von Buch[2] zuerst aufgefundene, nachher mehrfach und namentlich durch Dove bestätigte Regel, dafs in Berlin, und auf gleiche Weise überall in Deutschland, Schnee entsteht oder der feine Herbstregen in Schnee übergeht, wenn der Wind von S durch W nach N übergeht, und das Barometer zu steigen beginnt. Die nördlichern, kältern, mithin auch schwerern Luftmassen pflegen nämlich in den niedern Regionen zu strömen oder, wenn sie die höhern einnehmen, herabzusinken, wodurch die südlichern genöthigt werden, über ihnen hin zu strömen, und die Vereinigung beider die Disposition zum Schneien bedingt. Nach den Resultaten, die L. v. Buch aus Beguelin's Registern entnommen hat, bringen im Winter unter 100 Malen die folgenden Windrichtungen Schnee

1 S. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1216.
2 Abhandl. der Berl. Acad. 1818 — 19. S. 101.

Digitized by Google

S,	SW,	W,	NW,	N,	NO.	O,	SO.
5,0	15,7	14,7	21,5	11,1	17,5	7,0	7,3

Es hängt also hiermit sehr naturgemäfs zusammen, dafs es häufig noch während des Schneiens zunehmend kälter werden und das Fallen des Schnees auch bei beträchtlichen Kältegraden fortdauern könne, wie schon Musschenbroek[1] aus seinen Beobachtungen gefolgert hat, obgleich auch aus den angegebenen Bedingungen leicht erklärlich ist, dafs nach dem Fallen des Schnees die Temperatur milder werden könne, wenn die südlichern, wärmern Luftströmungen die Oberhand erhalten. Auf jeden Fall mufs eine mit Wasserdampf mehr beladene Luftschicht vorhanden seyn, aus welcher zur Abkühlung ein Niederschlag entsteht, der dann noch durch die hinlänglich niedrige Temperatur in Schnee verwandelt werden kann. In der Regel wird daher unter mäfsigen Breiten der Schnee bei Temperaturen fallen, die geringer sind, als diejenigen, welche der strengsten Winterkälte und heiterem Himmel angehören. Diesemnach hält L. v. Buch für Berlin eine Temperatur von — 4° bis — 5° für die mittlere, bei welcher dauernder Schnee fällt, und glaubt, dafs es bei — 13° kaum noch schneien könne, Kämtz[2] aber sah zu Halle am 15. Jan. 1828 bei — 14°,8, am 20. Jan. 1829 bei — 16°, am 4. Febr. 1830 bei 17°,8 und am 30. Jan. 1830 bei — 18°,1 Schnee fallen. Ohne die tiefsten Temperaturen, wobei es noch schneien kann, besonders beachtet und aufgezeichnet zu haben, finde ich in meinen meteorologischen Registern Schneefälle bei tieferen Temperaturen bemerkt: am 12. Jan. 1820 bei — 13°,75, am 3. Jan. 1821 bei — 7°,25, am 13. Jan. 1823 bei — 8°,75 und am 24. desselben Monats bei — 9°,3, am 26. Jan. 1826 bei — 10°, am 22. Jan. 1827 bei — 9°,25, am 17. Jan. 1829 bei — 6°,75, am 5. Jan. 1830 bei — 10° und am 19. Dec. desselben Jahres bei — 6°,75. Hieraus ergiebt sich also, dafs das Fallen des Schnees bei niedrigern Temperaturen nicht eben unter die Seltenheiten gehört, und zwar vermuthlich für ganz Deutschland und diejenigen Länder Europa's, die unter gleichen Breiten liegen, obgleich L. v. Buch im Wesentlichen darin Recht hat, dafs die Temperatur beim Schneien meistens

1 Introduct. §. 2403.

2 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831. Th. I. S. 406.

geringer ist, als die stärkste zu jener Zeit, da in der Regel nach dem Schneien eine gröfsere Kälte folgt, die um so stärker zu seyn pflegt, je tiefer die Temperatur beim Schneien selbst herabging. Aus höheren Breiten sind über diese Frage nicht hinlänglich zahlreiche Beobachtungen bekannt, indefs wissen wir, dafs eigentliche Schneefälle auch dort bei verschiedenen, den eben angegebenen nahe kommenden Temperaturen statt finden. So giebt Scoresby[1] als niedrigste Temperatur — 12°,3 C. an, bei welcher es in den Eismeeren bei Spitzbergen noch eigentlich zu schneien pflegt, eine Bestimmung, welche ihr Auffallendes verliert, wenn man berücksichtigt, dafs blofs während des Sommers dort beobachtet wurde.

In allen Gegenden von Deutschland, hauptsächlich in den nördlichern, fallen nicht selten bei anscheinend ganz heiterem Wetter, bei Windstille und im Sonnenschein ganz feine, völlig durchsichtige und winzig kleine Blättchen, seltener kleine Nadeln, herab, die durch die Reflexion des Lichtes glänzend erscheinen und daher sowohl bei ihrem Herabfallen und Schweben in der Luft, als auch auf einem dunkeln Grunde leicht kenntlich werden. Obgleich die Anwesenheit solcher feiner Krystalle in den höhern sehr kalten Regionen der Atmosphäre höchst wahrscheinlich ist, da man aus ihnen die Entstehung der *Höfe* erklärt, die man, namentlich wenn sie sehr schwach sind, bei der Spiegelung der Sonne im Wasser[2] oder nach der sinnreichen Methode von Kämtz in einem schwarzen Glasspiegel wahrzunehmen pflegt, so ist doch zu vermuthen, dafs die eben erwähnten nicht aus dieser Höhe herabfallen, sondern in den untersten Schichten der Atmosphäre gebildet werden. Unter mittleren Breiten fallen nur wenige solche feine Krystalle herab und bilden keine eigentliche Decke, obgleich der Procefs sich zuweilen an mehrern Tagen nach einander erneuert, unter höhern Breiten aber ist die Erscheinung weit häufiger und die Menge des auf diese Weise erzeugten sogenannten *Staubschnees* beträchtlich grofs. Parry[3] sah ihn bei seinem Winteraufenthalte zu Port Bowen

1 A. a. O.

2 Vergl. *Hof.* Bd. V. S. 434.

3 Journal of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage. cet. Lond. 1826. 4. p. 77.

Digitized by Google

mehrmals an heitern Tagen herabfallen, und seine Höhe betrug, wo ihn der Wind nicht zusammenwehte, 4 bis 5 Zolle; die Krystalle waren sehr klein. Maupertuis[1] beschreibt den Schnee in Lappland als einen feinen, trocknen Staub, welcher bei einer Höhe von 4 bis 5 Fuſs das Gehen fast unmöglich macht. Er dringt durch die feinsten Risse in die Häuser ein, greift die Augen sehr an und ist nach den Beobachtungen von Middleton[2] in Nordamerica eine groſse Plage des hohen Nordens. Auch Bedemar[3] sah ihn zu Röraas bei — 15° C. im hellen Sonnenscheine entstehn und aus der Luft anhaltend bis zu beträchtlicher Menge herabfallen. Oft ist die Bildung dieses Schnees mit einem Nebel verbunden, welcher durch die feinsten Risse in die Gemächer dringt und die Betten nebst den darin liegenden Personen nach Art des Reifs mit feinen Schneenadeln bedeckt, wie Bedemar[4] namentlich von Kielvig erzählt; ich selbst aber erinnere mich, daſs im kalten Winter 1788 ebendiese Unannehmlichkeit im nördlichen Deutschland bei nicht hinlänglich dicht verwahrten Gemächern statt fand.

In Deutschland und den Ländern unter gleicher Breite fällt der Schnee meistens bei ruhiger Luft, zuweilen aber ist namentlich der mit Regen gemischte oder der, welcher bei vorherrschender Gewitterdisposition, namentlich im Februar, zu fallen pflegt, mit stürmischer Witterung verbunden. Meistens geht dann der Wind während des Schneiens von seiner westlichen oder südwestlichen Richtung nach Norden über, das Wetter heitert sich nach dem Falle des Schnees auf und es tritt Frostkälte mit heiterem Himmel ein. Dauert der Wind fort, so häuft dieser den Schnee in den Niederungen bedeutend auf und macht es unbestimmbar, wie hoch der gefallene Schnee anzunehmen sey. Nicht eben selten aber, und hauptsächlich häufig auf hohen Bergen und in gebirgigen Gegenden, ist das Fallen des Schnees von Winden begleitet, die an Stärke den heftigsten Stürmen nahe kommen und die man auch wohl, näher bezeichnend, *Schneestürme* zu nennen

1 La Figure de la Terre cet. Amst. 1738. 8. p. 55.
2 Phil. Trans. Nr. 465.
3 Reisen. Th. I. S. 255.
4 A. a. O. Th. II. S. 115.

Digitized by Google

pflegt, indem sie blofs so lange anhalten, als der Schnee herabfällt. Man erkennt dann an den Schneeflocken sehr deutlich die wirbelnde Bewegung der Luft, welche ohne Zweifel bei allen Stürmen statt findet. Eine interessante Beschreibung eines solchen Schneesturmes, welcher am 20. Sept. 1781 zwei Reisende auf ihrem Wege zur Spitze des Brockens überfiel und in nicht geringe Gefahr brachte, erzählt Lichtenberg[1], und Lampadius[2] beobachtete einst auf dem 140 Fufs hohen Petersthurme zu Freiberg, dafs der Schnee bis zu 200 Fufs Höhe vom Wirbelwinde emporgehoben wurde. Dahin gehören dann auch die Schneestürme auf den Alpen, die so häufig den Reisenden gefährlich werden, indem sie die Wege unkenntlich machen, die sogenannten Schneelehnen aufhäufen und Menschen sowohl als auch die Lastthiere in Abgründe stürzen oder mit den herabrollenden Schneemassen überdecken, weswegen zur Rettung derselben auf dem Hospitium des St. Bernhard grofse abgerichtete Hunde gehalten werden. Unter höhern Breiten herrschen solche Schneestürme auch in geringern Höhen und namentlich scheint dieses in Norwegen der Fall zu seyn. Bedemar[3] beobachtete einen solchen zu Röraas, welcher so heftig war, dafs er auf eine Entfernung von 1200 Fufs seine Wohnung kaum finden und nur mit Mühe erreichen konnte, ja selbst Gefahr lief, im Andrange der Luft zu ersticken. Das Geräusch des tobenden Sturmes ist dabei so heftig, dafs die lautesten Töne selbst in der Nähe nicht mehr hörbar sind. Dort besteht daher das Gesetz, dafs die sämmtlichen Arbeiter von den Bergwerken vereint zurückgehn müssen, damit die ältern und schwächern in den Schneestürmen nicht umkommen. Dafs solche Schneestürme den Gewittern beizuzählen sind, läfst sich schon an sich vermuthen, und wird sowohl durch die elektrische Disposition der Luft beim Schneien, als auch dadurch bestätigt, dafs plötzlich eintretende starke Schneefälle zuweilen von Blitzen und vom Donner begleitet sind, auch wurde einst zu Lochawe ein Schneesturm beobachtet, wobei der Schnee und alles umher einige

1 Göttingisches Magazin. 2ter Jahrg. Th. II. S. 231.

2 Systematischer Grundrifs d. Atmosphärologie. Freib. 1806. S. 163.

3 Reisen. Th. I. S. 254.

Digitized by Google

Minuten lang leuchtete[1]. Sehr heftig sind die Schneestürme zu Kamtschatka, wo sie *Purga* genannt werden und den Reisenden grofse Gefahr bringen, in den Thälern unter dem von den Bergen herabgetriebenen Schnee begraben zu werden[2].

Die Menge des herabfallenden Schnees ist nach den Jahren und Gegenden sehr verschieden. Auf den Berggipfeln, wo es nicht regnet, sondern blofs schneiet, ist die Quantität stets ziemlich gleich, in geringeren Höhen über der Meeresfläche aber, wo es blofs im Winter schneiet, ist sie sehr verschieden. In manchen Wintern schneiet es überall kaum, oder so wenig, dafs gar keine Schneedecke über dem Boden gebildet wird, in andern erreicht der Schnee eine Höhe von 0,5 bis etwa 4 Fufs; an Stellen aber, wo ihn der Wind zusammenweht, liegt er zuweilen noch ungleich höher. In Thälern und waldigen Gegenden fällt mehr Schnee als in der Ebene, überhaupt aber ist seine Menge von der eigenthümlichen Beschaffenheit der Witterung im Winter abhängig. Den bedeutendsten Einfluſs auf die Menge des Schnees hat die Breite der Orte, allein es würde zu falschen Resultaten führen, wenn man beide Gröſsen einander direct proportional annehmen wollte. Dafs unter niederen Breiten nur wenig Schnee fallen könne, die Bergspitzen nahe bei und über der Schneegrenze ein für allemal ausgenommen, versteht sich schon von selbst, da die Region des Schnees überhaupt erst etwa im mittleren Italien beginnt, in Asien und vorzüglich in America aber sich viel weiter nach Süden erstreckt. Man wird sich nicht viel von der Wahrheit entfernen, wenn man den Anfang derjenigen Region, wo es in der Ebene überhaupt schneiet, in die isothermische Linie[3] von 15° C. setzt, die etwa durch

1 Edinb. Phil. Journal N. XXIV. p. 405. Ann. of Phil. N. Ser. XI. 154. Vergl. Lampadius in G. LXX. 113.

2 Kotzebue Reisen Th. II. S. 3. Mehrere Beobachtungen ähnlicher Erscheinungen findet man in Reisebeschreibungen.

3 Vergl. *Temperatur*. An einigen Orten geht er durch Oertlichkeiten begünstigt tiefer herab, z. B. zu Deihbihd zwischen Ispahan und Persepolis unter nicht völlig 31° N. B. fällt alle Jahre Schnee, und oft in solcher Menge, dafs die Reisenden 40 Tage dadurch aufgehalten werden. S. Morier's Reise durch Persien u. s. w. Weimar 1814. S. 99. Zu Damascus gehört der Schnee unter die Seltenheiten. S. Ali-Bey's el Abassi Reisen. Weimar 1816. 2te Abth. S. 476.

Digitized by Google

Florenz geht. In dieser gehört der Schnee unter die Seltenheiten und es kann daher von seiner Menge nicht eigentlich die Rede seyn. Von hier an nimmt dieselbe mit den Graden der Breite zu, bis etwa zur Isotherme von 5°, die nahe bei Tronthiem fällt, dann aber nimmt sie wieder ab, weil in hochnördlichen Gegenden die Luft zu kalt und demnach zu arm an Wasserdampf ist.

Ungleich wichtiger sind dann aber die örtlichen Bedingungen, welche ihren Einfluſs auf die Menge des fallenden Schnees ausüben und bewirken, daſs dieselbe unter den nämlichen Breiten auf gleiche Weise verschieden ist, als dieses bei den Regenmengen statt findet; indeſs fehlen hierüber allgemeine Beobachtungen, weil man sich in der Regel darauf beschränkt, die Menge der wässerigen Niederschläge im Ganzen auszumitteln, und es werden daher nur einzelne auffallende Erscheinungen aufgezeichnet. So erwähnt Musschenbroek mehrere Beispiele hoher Schneefälle in verschiedenen Gegenden, Bouguer[1] erzählt von solchen auf dem Berge Asonay, die jeden, den sie überraschen, in Lebensgefahr versetzen, Maupertuis gedenkt solcher in Lappland, und Ellis giebt an, daſs in der Gegend der Hudsonsbay oft alles so sehr mit Schnee überdeckt wird, daſs man weder Wege noch selbst Wohnungen der Menschen wahrnimmt; in Newyork aber fiel im Jahre 1741 so viel Schnee, daſs er die Erde 16 Fuſs hoch bedeckte. Ueberhaupt ist in den nordamericanischen Staaten die Menge des Regens und des Schnees, insbesondere des letztern, ausnehmend verschieden, was man als eine Folge des bedeutenden Einflusses betrachten muſs, welchen die herrschenden Winde auf die Beschaffenheit des Wetters im Allgemeinen ausüben, indem dieses sich bei Nord- und Nordostwinden ganz anders gestaltet, als bei südlichen und südwestlichen. Vom Thale des Tenessee-Flusses bis zu den Gewässern, die in den Ohio flieſsen, wird der Schnee zunehmend tiefer, erreicht am erstern Orte nur wenige Zoll, am nördlichen Ohio und in Indiana aber zuweilen, wie 1830 auf 31, zwei Fuſs. In Cincinnati fällt der Schnee selten über einen Fuſs hoch, meistens erreicht er nur ein Drittel dieser Höhe, und selten liegt er mehrere Wochen, weil bald erfol-

1 Voyage au Perou. p. 42.

gendes Thauwetter ihn auflöst; doch giebt es ausnahmsweise Beispiele anhaltend kalter Winter, wie z. B. 1796 und seitdem wieder 1831 auf 32. Unterhalb des 40. Breitengrades fällt mehr Schnee östlich von den Alleghanny-Bergen, als westlich von diesen, über jene Breite hinaus fällt dieser Unterschied weg, aber dort ist die Menge des Schnees der vielen Seeen wegen sehr bedeutend[1]. Norwegen hat wegen seiner nördlichen Lage und der Nähe des Meeres viel Schnee, hauptsächlich in den Gebirgsthälern und den Fiörden. Nach L. v. Buch[2] erreichte er im Winter 1806 auf 7, als es von Weihnachten bis in den April unaufhörlich schneiete, zu Gebostadt die beispiellose Höhe von 20 Fuſs und zu Lenvig von 12 F., in Bergen aber fällt nie über 4 Fuſs. In Finmarken, hauptsächlich im nördlichen Theile, fällt eine unglaubliche Menge, so daſs er namentlich in Masöe und Kielwig oft über den ersten Stock der Häuser hinausragt und nicht vor Johannis weggeschmolzen ist. So lag er unter andern im Jahr 1813 am Tage vor Johannis noch 3 Fuſs hoch[3]. In Lappland fällt derselbe in solcher Menge, daſs Bedemar einst einen Zweig von 1,5 Lin. Dicke mit einem Schneekamme von 9 Zoll Höhe überdeckt fand, was den Bäumen ein höchst wunderbares Ansehn giebt. Grönlands bewohnte Küsten haben gleichfalls wegen der Nähe des Meeres viel Schnee, dessen Menge ausnahmsweise bis ins Unglaubliche wächst. Nach dem Tagebuche der mährischen Missionäre[4] lag zu Okkak in der Nähe der Colonie Herrenhut am Ende des Mai 1791 noch zehn Fuſs hoher Schnee und an einer Seite der Kirche am 17. Mai noch 20 Fuſs hoch. In den meisten Fällen sind aber die hohen Lagen Schnee, die man antrifft, zugleich eine Folge der Anhäufung desselben durch den Wind, welcher ihn während und nach seinem Herabfallen an Orten, wo sich ein Widerstand zeigt, oder in Niederungen zusammentreibt. Als eine seltene Merkwürdigkeit bemerkte Cleaveland[5] einst zu New Brunswik, daſs der vom Winde bewegte Schnee zu

1 View of the Valley of Mississippi or the Emigrants and Traveler's Guide to the West cet. Philad. 1834. p. 80.

2 Reisen Th. I. S. 420.

3 Bedemar Reisen. Th. II. S. 107 u. 164.

4 Voigt's Mag. Th. IX. S. 459.

5 Silliman Amer. Journ. VI. 162. G. LXXVI. 343.

Digitized by Google

Bällen aufgerollt wurde, die auf beträchtliche Strecken fortgetrieben stets ein lockeres Gefüge beibehielten.

Die Menge des Wassers, welches der Schnee giebt, oder die Wasserhöhe, welche aus einer gewissen Höhe des gefallenen Schnees durch Aufthauen entsteht, ist kaum überall bestimmbar, weil dieses Ergebnifs zu sehr von der Beschaffenheit des Schnees abhängt. Bei strenger Kälte, und wenn derselbe bei nördlichen und nordöstlichen Winden fällt, ist er ausnehmend locker und läfst sich kaum fest zusammenballen. In diesem Falle giebt er wenig Wasser, und weil die vorherrschende Luftströmung zugleich auf die Witterungsdisposition zur Kälte deutet, so beruht hierauf die bekannte Probe, dafs man einen Schneeball über eine Lichtflamme hält und auf einen strengen Winter rechnet, wenn das Wasser aus ihm nicht herabtröpfelt, sondern durch die wegen der Härte der Krystalle stets noch lockere Masse aufgesogen wird. Solcher Schnee kann beträchtlich hoch liegen, ohne aus der angegebenen Ursache, und weil das Wetter im Ganzen zu nördlichen, trocknen Winden geneigt ist, beim Aufthauen vieles Wasser zu geben, worauf sich das Sprüchwort gründet: viel Schnee — wenig Wasser, wenig Schnee — viel Wasser. Eben daher sind die Bestimmungen über das Verhältnifs beider Gröfsen zu einander so verschieden, dafs es kaum möglich ist, ein mittleres, genähertes Resultat zu erhalten. Cotte nimmt nach den Beobachtungen von Sedileau[1] dieses Verhältnifs wie 1 zu 5 bis 6 an; nach de la Hire[2] ist dasselbe bald wie 1 zu 3,333, bald wie 1 zu 5 oder 6, bald wie 1 zu 12, woraus im Mittel 1 zu 6,6 folgen würde. Musschenbroek folgert aus einer zu Utrecht von ihm angestellten Messung wie 1 zu 24, Kraft[3] setzt dasselbe für gewöhnlich wie 1 zu 2,25, bei grofser Dichtigkeit des Schnees aber wie 1 zu 1,57, und ebenso nimmt Celsius[4] für den ersten Fall dasselbe wie 1 zu 11, im letzteren aber wie 1 zu 2,8 an. Am genügendsten sind die Bestimmungen von van Swinden[5], die sich auf zahlreiche Mes-

1 Mém. de l'Acad. 1692.
2 Ebend. 1692, 1693 u. 1711.
3 Comment. Petrop. XIV. p. 213.
4 Acta Liter. Sueciae. T. III. p. 41.
5 Journ. de Phys. T. VIII. p. 330.

Digitized by Google

sungen gründen, wonach das Verhältnifs der Dichtigkeit des Schnees zum Wasser im Minimum wie 1 zu 19, im Maximum wie 1 zu 5,56 ist, woraus ein mittleres Verhältnifs von 1 zu 9,66.... oder in genähertem Werthe wie 1 zu 10, für die meisten Fälle anwendbar, hervorgeht. Neuerdings hat Quetelet[1] diese Frage zum Gegenstande wiederholter Untersuchungen gemacht, wobei er die Absicht hatte, das Verhältnifs zwischen der Gestalt und der Dichtigkeit des Schnees aufzufinden, welche Aufgabe jedoch dadurch schwierig wird, dafs nach den Beobachtungen von Scoresby verschieden gestaltete Flocken meistens vereinigt herabzufallen pflegen. Quetelet's Messungen bestätigen allerdings den Satz, dafs der Schnee bei gröfserer Kälte lockerer ist, allein auch in dieser Beziehung findet kein allgemeines Gesetz statt, denn der Schnee hatte zwar die gröfste Dichtigkeit von $\frac{1}{2,8}$, als er bei + 1°,3 C. fiel, allein die geringste von $\frac{1}{18,1}$ hatte er bei einer Temperatur von — 1°,0 C. und bei der tiefsten von — 12°,5 hatte er blofs $\frac{1}{8,8}$. Zwischen diesen beiden Extremen liegen viele mittlere Werthe, welche sämmtlich im Mittel das Verhältnifs des Volumens des Schnees zu dem des daraus erhaltenen Wassers = 9,0658 mit dem eben gefundenen sehr nahe übereinstimmend geben. Hierbei mufs zugleich berücksichtigt werden, dafs der frisch gefallene Schnee am lockersten ist, allmälig aber durch seinen eigenen Druck fester wird, wozu noch der Einfluss der Sonnenstrahlen kommt, die einen Theil desselben auf der Oberfläche erweichen, welcher zusammensinkt und durch die nachfolgende Kälte wieder gefriert, so dafs im Verlaufe der Zeit eine zunehmend dickere und stets fester werdende *Schneekruste* entsteht, die zuweilen so hart wird, dafs man über sie hingehn kann, ohne sie zu zerbrechen und in den unterhalb befindlichen lockeren Schnee einzusinken. Aufserdem verdunstet derselbe stets, und seine Menge nimmt daher um so mehr ab, je länger er liegt und je trockner während dieser Zeit die Luft bei nördlichen und östlichen

1 L'Institut. 1834. N. 59. Aus Annuaire de l'Observ. de Brux. 1834.

Digitized by Google

Winden ist. Auf hohen Bergen, in Thälern und in waldigen Gegenden erhält er sich daher sehr lange und speiset das ganze Jahr hindurch die perennirenden Quellen und die hieraus entstehenden Flüsse. Als schlechter Wärmeleiter schützt er die Pflanzen gegen das Erfrieren und gewährt sogar den Füfsen der Jäger und den Bewohnern der unter ihm befindlichen Hütten oder Gruben ein Schutzmittel gegen zu strenge Kälte. Ebendeswegen genügt es auch, die Oeffnungen der Keller im Winter mit einer starken Lage Schnee zu verschliefsen, auf dessen Oberfläche Wasser mit einer Giefskanne gespritzt wird, um eine feste Kruste zu erzeugen, die gegen das Zerstreuen desselben sichert.

Das Wasser des Schnees ist, wie das der Hydrometeore überhaupt[1], im Allgemeinen rein und blofs ausnahmsweise, wie das des Regens, mit heterogenen Substanzen vermischt. Man hielt früher und hält auch noch jetzt dasselbe sehr allgemein für ein vorzügliches Beförderungsmittel der Vegetation, indem man ehemals diese Eigenschaften den Salzen zuschrieb, die in demselben enthalten seyn sollten. Als man die Nichtigkeit dieser Hypothese eingesehn hatte, glaubte Hassenfratz[2] diese Wirkung von einer gröfsern Menge darin enthaltenen Sauerstoffgases ableiten zu können, welches das Wachsthum der Pflanzen befördern sollte. Carradori[3] hat jedoch durch directe Versuche bewiesen, dafs das Schneewasser vielmehr ärmer an Sauerstoffgas ist, was schon daraus von selbst folgt, dafs die enthaltene Luft aus dem Wasser beim Gefrieren entweicht. Hiernach müssen wir also das Schneewasser als solches für indifferent hinsichtlich der Vegetation halten, aufser dafs es durch seine langsamere Erzeugung tiefer in den Erdboden eindringt und diesen daher längere Zeit feucht erhält. Im Ganzen ist es durch die Kälte, die gleichfalls lange bei ihm dauert, der Vegetation nachtheilig, da diese im Frühjahre erst üppig zu werden pflegt, wenn ein warmer Regen erfolgt ist. Wenn man aber Fruchtbarkeit nach beträchtlichem Schnee erwartet, so ist dieses wohl eine irrige Voraus-

1 Vergl. *Regen*. Bd. VII. S. 1220.

2 Journ. de l'École Polyt. Cah. 4. Journ. de Phys. XLVIII. p. 375.

3 Journ. de Phys. XLVIII. p. 226. LIII. p. 98.

Digitized by Google

setzung, da manche Sommer ohne allen vorausgegangenen Schnee sehr fruchtbar sind, oder die Ursache möchte in Vergleichung mit schneelosen kalten Wintern in dem Schutze liegen, welchen er den Winterpflanzen gewährt. Die Oekonomen halten aufserdem nicht sowohl den Schnee, als vielmehr das Gefrieren des Erdbodens (nur nicht das trockne, welches nachtheilig ist) deswegen für vortheilhaft, weil er dadurch lockerer werden soll.

Der Schnee, aus sehr feinen und locker zusammengefügten Krystallen des fast gänzlich farblosen Wassers gebildet, ist nach dem Fallen blendend weifs, etwas weniges sanft ins Bläuliche spielend, wodurch der bei vollkommenem Weifs so leicht erzeugte Uebergang in Gelb (wie bei weifsen Zeugen) vermieden wird. Hiernach reflectirt er vieles Licht, erhellet daher in dunkeln Nächten die Gegenden, wird aber durch das viele reflectirte Tags- oder gar Sonnenlicht den Augen unangenehm, so dafs er sogar Entzündungen, in nördlichen Gegenden die sogenannte *Schneeblindheit*[1], erzeugt. In sehr seltenen Fällen ist der Schnee durch Substanzen gefärbt, die mit ihm zugleich herabfallen, wie die bereits erwähnten Insecten, oder durch etwas vulcanische Asche, die ihm schon in höhern Regionen zufällig beigemengt seyn kann, oder auch durch mechanisch fortgerissenen Staub, wie dieses bei dem röthlichgelb gefärbten Schnee und Hagel ausnahmsweise der Fall war, welcher 1813 in und bei Arezzo in grofser Menge fiel und nach Fabroni's[2] Untersuchung eine gewisse Quantität einer feinen erdigen Substanz enthielt, die hauptsächlich aus Thon, wenig kohlensaurem Kalk, noch weniger Eisen und etwas Braunstein nebst thierischer und vegetabilischer Substanz bestand. Auf den höchsten Bergspitzen behält er diese blendend weifse Farbe stets bei, auf Abhängen, in der Ebene und in Niederungen aber führt der Wind aufgehobenen Staub über ihn, wonach er ein schmuziges, bald graues, bald röthliches oder gelbliches Ansehn erhält, je nach der Beschaffenheit der ihn bedeckenden Substanzen.

Abstrahiren wir von denjenigen Substanzen, welche zuweilen sowohl mit dem Regen als auch dem Schnee vereint

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1417.
2 Ann. de Chim. T. LXXXVIII. p. 146.

Digitized by Google

herabgefallen sind und worüber bereits gehandelt ist[1], so hat vorzüglich der rothe Schnee die Aufmerksamkeit der Naturforscher rege gemacht. Man hat denselben schon lange gekannt, obgleich unter dem von Plinius[2] erwähnten rothen Schnee blofs röthlich gelb beschmuzter zu verstehn ist, welchen man häufig, namentlich in Italien, findet. Hiernach ist dann Th. de Saussure[3] der erste, welcher ihn 1760 in den Alpen sah und beachtete; allein die wichtigern Untersuchungen der Naturforscher über das färbende Princip desselben begannen erst, nachdem Capt. Ross denselben 1819 in grofser Menge unter 75° 54′ N. B. in der Baffinsbay gefunden hatte. De Saussure fand, dafs die färbende Substanz der Alpen auf Kohlen einen Geruch nach Pflanzenstoffen gab, und schlofs daher hieraus sowohl, als auch aus ihrem Verhalten in Alkohol, dafs sie vegetabilischer Natur seyn müsse, etwa irgend ein Blüthenstaub, ohne dafs er jedoch anzugeben wufste, wie ein solcher zu jenen Höhen, die von aller Vegetation entblöfst waren, gelangen könnte. Später fand Ramond[4] auf den Spitzen der Pyrenäen in Höhen von 2000 bis 2400 Metern im Frühjahre da, wo das Wasser des aufthauenden Schnees Furchen gebildet hatte, diese röthlich gefärbt und sammelte aus kleinen Vertiefungen eine genügende Menge des färbenden Pulvers, welches mit dem Schnee vermengt beim Aufthauen zu Boden fiel, getrocknet und auf Kohlen geworfen bei geringerer Hitze nach Opium und den Wurzeln der Cichoriengewächse roch, bei stärkerer Hitze sich aufblähete und sich wie vegetabilischer Stoff verhielt. Zugleich fand er jedoch kleine dunkelrothe Blättchen, die die rothe Farbe erzeugten, und hielt diese für Glimmer, wonach er also schlofs, dafs die Einwirkung der Sonne und der Frühlingsluft eine Zersetzung der Felsen bewirke, die den Glimmer hergäben; auch meinte er, dafs de Saussure am Montblanc deswegen keinen rothen Schnee gefunden habe, weil der Granit der Spitze desselben keinen Glimmer enthält. Diese Hypothese

1 S. Art. *Regen.* Bd. VII. S. 1231.

2 Hist. nat. L. XI. p. 35. Ipsa nix vetustate rubescit.

3 Voyage. ed. 4to. T. IV. p. 205.

4 Mém. de l'Inst. T. V. p. 417. Gehlen N. Journ. T. VI. p. 239.

Digitized by Google

mufste als nichtig erkannt werden, sobald Ross[1] im hohen Norden, wo gar keine Felsen mit Glimmer vorhanden sind, den rothen Schnee auf Hügeln fand, die etwa eine englische Meile lang und gegen 600 F. hoch waren, und wo die rothe Farbe bis auf den Grund, zuweilen bis zu einer Tiefe von 12 Fufs reichte. Diese Angabe, an sich unwahrscheinlich, wird jedoch von andern mit ihm auf dem Schiffe Alexander reisenden Beobachtern bestritten, welche behaupten, dafs er nie tiefer als bis 1 oder höchstens 2 Zoll tief gefunden worden sey.

Bauer[2] hielt die färbende Substanz für vegetabilisch, setzte einen Theil der mitgebrachten wiederholt zu Kiew-Green einer geeigneten Kälte auf Schnee und von demselben umgeben aus, und fand, dafs dieselbe wuchs und aus einer Art kleiner Schwämme von $\frac{1}{1600}$ bis $\frac{1}{1200}$ Zoll Durchmesser bestand, die gröfsten neu erzeugten erreichten einen Durchmesser von $\frac{1}{800}$ Zoll. Die neuen waren zuweilen ungefärbt, wurden beim heftigen Gefrieren, vom Schnee entblöfst, schwarz, ohne jedoch die Kraft der Vegetation zu verlieren, bei gröfserer Wärme erzeugten sie eine Art grüne Substanz. Robert Brown war der Meinung, die Substanz sey der *Tremella cruenta* der englischen Botaniker sehr verwandt und gehöre zu den Algen, statt dafs Bauer sie für eine Art *Fungus* erklärte und als *uredo* mit dem Namen *uredo nivalis* benannte. Nach der Aussage des Prior Biselx ist der Schnee auf der Spitze des Bernhard nur bis auf 1 oder 2 Zoll tief röthlich gefärbt, die Färbung nimmt mit der Zeit zu und nie hat jemand so gefärbten Schnee herabfallen gesehn. Von dem in der Nähe des Hospitiums gesammelten rothen Schnee untersuchte Peschier zu Genf eine Quantität, und glaubt diesemnach, die Ursache der Färbung sey eine doppelte; theils bestehe der rothe Stoff aus sehr feinem Eisenoxyd, theils aus einer feinen harzigen, vegetabilischen Substanz, gelbroth und wahrscheinlich den Kryptogamen angehörig, etwa den Algen oder den Lichenen. Zugleich meint er, dafs das färbende Eisen wohl in den

1 John Rofs Entdeckungsreise u. s. w. Uebers. von Nemnich. Leipz. 1820. 4. S. 75. Auf einer der Tafeln ist der Schnee durch Zeichnung dargestellt.

2 Phil. Trans. 1820. P. II. p. 165.

Pflanzen enthalten seyn möge[1]. Decandolle[2] hat die Kügelchen des Alpenschnees mit denen verglichen, die von Ross mitgebracht wurden, und beide für identisch erklärt, glaubt aber nicht, dafs sie zum Geschlecht *uredo* gehören, sondern ein eignes bilden. Agardh[3] zu Lund verglich eine wohl erhaltene Probe der durch Ross mitgebrachten färbenden Substanz mit einer andern, die Baron Wrangel in der Provinz Nerike auf weifsem Kalkstein als eine feine Kruste gefunden, zu den Lichenen gerechnet, und *Lepraria kermesina* genannt hatte. Nach seiner angestellten Prüfung sind beide identisch, gehören jedoch weder zum Geschlecht *uredo*, noch zu dem von *lepraria*, sondern zu den Algen, unter denen sie eine eigene Species bilden, die Agardh *Protococcus kermesinus* genannt hat. Dieser Naturforscher meint zugleich, es lasse sich bei den Algen nicht eigentlich bestimmen, ob sie zum Thierreiche oder zum Pflanzenreiche zu rechnen sind, Macaire Prinsep und Marcet[4] aber folgern aus ihrer Analyse, dafs die roth färbenden Kügelchen zum Thierreiche gehören, und auf jeden Fall Gelatina enthalten. Parry sah auf seiner Entdeckungsreise nach dem Nordpole den Schnee insbesondere in den Furchen der Schlitten häufig roth, oder gelblich gefärbt, und leitet diese Färbung gleichfalls von der durch Ross beobachteten Substanz ab, allein Scoresby[5] ist der Meinung, dafs diese von einer Thierart herrühre, die sich häufig in den nördlichen Polarmeeren findet, und auch dem Eise, eben wie dem darauf liegenden Schnee eine rothe, gelblichrothe oder gelbe Farbe giebt. Nach mikroskopischen Untersuchungen sind diese Thierchen braunroth, länglicht von $\frac{1}{2100}$ und $\frac{1}{3760}$ Zoll Durchmessern, und färben zuweilen ganze Strecken der See, da nach Zählung in einem Tropfen wenigstens 12960 derselben enthalten waren[6].

M.

---

1 Bibl. univ. T. XII. p. 254. Ann. Ch. Phys. T. XXI. p. 416. G. LXIV. 318.

2 Ann. Ch. Phys. T. XXVII p. 134.

3 Edinb. Journ. of Science. N. VII. p. 167.

4 Mém. de la Soc. de Physique de Genève. T. IV. p. 185. Vgl. Bibl. univ. XXXIX. 290.

5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XI. p. 54.

6 Eine ausführliche Untersuchung über das färbende Princip des

Digitized by Google

Schraube.

Cochlea; Vis; *Screw.*

Die Schraube gehört in der Mechanik zu der Fundamentalmaschine der geneigten Ebene, aus welcher sie ohne Weiteres abgeleitet wird, so dafs ihre Construction sehr einfach ist und es dabei nur auf Klarheit und Leichtigkeit der Darstellung ankommt. Man findet diese in allen Handbüchern der Mechanik fast genau mit einander übereinstimmend, vorzugsweise anschaulich ist die Sache durch Brix[1] dargestellt, dem ich im Wesentlichen meistens folge.

Man denke sich einen Cylinder AF mit geraden Endflächen und die Oberfläche desselben in eine Ebene ausgebreitet, so giebt diese den Rectangel AFF′A′, dessen eine Seite AA′ dem Umfange und die andere Seite A′F′ der Höhe des Cylinders gleich ist. Theilt man die beiden Seiten AF und A′F′ in gleiche Theile und zieht man die schrägen Linien AB′, BC′...., um diese Theile mit einander zu verbinden, wickelt man hernach die Ebene wieder um die Cylinder, so fallen die beiden Seiten AF und A′F′ in eine mit der Axe des Cylinders parallele Linie zusammen, und die schrägen Linien bilden eine Linie doppelter Krümmung Aa, Bb...., welche die *Schraubenlinie* (*Helix;* Filet de la vis; *Thread of the screw*) heifst und beliebig oft wiederkehrend die *Schraube* bildet. Eine gerade Berührungslinie an irgend einem Puncte der Schraubenlinie schneidet jede auf die Axe des Cylinders senkrechte Ebene unter einem gleichen Winkel, und dieser ist kein anderer, als der Winkel α, welchen die Linie AB′ mit der Seite AA′ bildet und welcher die *Neigung der Schraubenlinie* heifst. Wird irgend ein biegsamer prismatischer Körper, wozu man in der Regel ein vierkantiges oder ein drei- Fig. 270.

Schnees, worin zugleich die bekannten Analysen und ein Auszug aus einer Schrift von Nees von Esenbeck über diesen Gegenstand mitgetheilt werden, die Substanz aber mindestens in den meisten Fällen kosmischen Ursprungs seyn soll, von Schweigger befindet sich in dessen Journal XLIV. 437.

1 Elementar-Lehrbuch der dynamischen Wissenschaften. Th. I. S. 387.

Digitized by Google

kantiges Prisma nimmt, in der Richtung der Schraubenlinie um den Cylinder so gelegt, dafs eine seiner Seiten dicht anschliefst, so heifst dieser von A bis B, also von einer durch die Axe des Cylinders gelegten Ebene anfangend bis wieder zu dieser Ebene fortlaufend, ein *Schraubengang* (*Helix;* Filet de la vis; *Spire*); die fortgehenden Schraubengänge heifsen ein *Schraubengewinde*, der Cylinder wird hierdurch zur *Schraubenspindel* und das Ganze zur Schraube. Die Schraubengänge sind entweder nach aufsen hervorragend und bilden so die *männliche Schraube* (*Cochlea mas, cochlea exterior;* Vis mâle, Vis extérieure; *Screw*), oder sie sind in einen nach der Dicke der Schraubenspindel durchbohrten Körper eingeschnitten und bilden die *weibliche Schraube*, die *Schraubenmutter* (*Cochlea femina, cochlea interior;* Vis femelle, vis intérieure, écrou; *Nut of the screw, concave screw*), der Kreis, welcher die gerade Fläche des Cylinders begrenzt, heifst der *Umfang der Spindel* (*Peripheria cochleae;* tour de la vis), der Abstand zwischen zwei Windungen die *Höhe der Schraubengänge* (*Distantia helicum;* Pas de la vis; *Distance of the spires*).

Die gewöhnlichen Schrauben bestehn aus einer Spindel, um welche ein dreikantiges Prisma gewunden ist, wie DE, Fig. 271. weil diese sich bequemer und schneller schneiden lassen, für stärkere Wirkungen wählt man aber ein umgewundenes vierkantiges Prisma, wie AB, bei beiden ist für die bessere Wirksamkeit erforderlich, dafs der umgewundene Körper durchaus gleichmäfsig gestaltet sey und in jedem einzelnen Puncte eine gleiche Neigung gegen eine auf die Axe der Spindel normale Ebene habe. Die Güte der Schraube, welche auf diesen Bedingungen, desgleichen auf dem gehörigen Verhältnisse der Dicke des umgewundenen Körpers zum Durchmesser der Spindel und der zu hebenden Last und endlich auf der Dauerhaftigkeit des Materials beruht, hängt von der Geschicklichkeit des Künstlers ab und bedingt ihren sehr ungleichen Werth. Dabei wird allgemein vorausgesetzt, dafs die Schraubengänge vollkommen genau in die Vertiefungen der Schraubenmutter passen. Bei der Anwendung der Schraube wird entweder die Spindel um ihre Axe gedreht, oder die Mutter um die Spindel; in beiden Fällen werden die beiden zu einander passenden geneigten Ebenen auf einander hin geschoben,

Digitized by Google

um damit irgend eine Last zu überwältigen. Um daher die bei der Schraube in Betrachtung kommenden mechanischen Gesetze aufzufinden, darf man nur die Aufgabe so stellen, als solle das Verhältnifs der Kraft gefunden werden, womit eine gegebene Last auf der geneigten Ebene zum Gleichgewichte kommt. Berücksichtigt man zuerst die Schraube AB, wobei die Form einer geneigten Ebene am vollständigsten gegeben ist, so sey die zu hebende Last = P und die Anzahl der schiefen Ebenen, deren Länge man der Bequemlichkeit wegen einem einzelnen Schraubengange gleich setzen kann, = n, so ist die auf jede schiefe Ebene drückende Last $= \frac{1}{n}$ P. Heifst dann ferner die dieser das Gleichgewicht haltende Kraft = q, der Neigungswinkel der Schraubengänge $= \alpha$, so ist nach dem Gesetze der geneigten Ebene[1]

$$n \cdot q = P. \text{ Tang. } \alpha, \text{ also } q = \frac{1}{n} P. \text{ Tang. } \alpha.$$

Ist die Kraft am Ende des willkürlich langen Hebelarmes AC angebracht, dessen Richtung als lothrecht auf die Axe der Schraubenspindel angenommen wird (dessen Ende aber selbst im Umfange der Spindel liegen kann, wenn man diese zwischen den Fingern umdreht), berücksichtigt man ferner, dafs diese Kraft q der Last n mal entgegenwirkt, und setzt man den lothrechten Abstand der geometrischen Axe der Spindel bis zur Mitte des Schraubenganges = r, so ist

$$nq \cdot r = n \frac{1}{n} P. \text{ Tang. } \alpha \cdot r = r \cdot P. \text{ Tang. } \alpha,$$

und ebenso grofs mufs die Kraft seyn, welche dieser Last das Gleichgewicht hält. Nennen wir diese Q und die Länge des Hebelarmes AC, an dessen Ende sie wirkt, = R, so ist also

$$RQ = rP. \text{ Tang. } \alpha \text{ und } Q = \frac{r}{R} P. \text{ Tang. } \alpha.$$

Drückt AA′ die mittlere Peripherie $= 2r\pi$ der Schrauben- Fig. spindel aus, A′B′ = ab die Höhe eines Schraubenganges = h 270. und α den Neigungswinkel der schiefen Ebene, so ist

$$\text{Tang. } \alpha = \frac{A'B'}{AA'} = \frac{h}{2r\pi},$$

1 S. *Ebene.* Bd. III. S. 67.

Digitized by Google

welches substituirt giebt

$$Q = \frac{Ph}{2R\pi}.$$

Diese Demonstration pafst in ganzer Strenge nur auf die Schraube AB, nicht aber auf DE, wobei die geneigte Ebene zugleich schräg ist, man kann aber diesen durch den Parallelismus beider Ebenen verschwindenden Unterschied übersehn oder mit Brix zum Cartesischen allgemeinen Gesetze[1] seine Zuflucht nehmen. Bei einer Umdrehung der Schraube hat ihr Angriffspunct den Weg $= 2R\pi$ zurückgelegt, während die Last P um die Höhe eines Schraubenganges $=$ h gehoben ist, und es folgt also hieraus das Verhältnifs der Kraft zur Last

Fig. 271.

$$Q : P = h : 2R\pi.$$

Es ist demnach Gleichgewicht vorhanden, *wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe eines Schraubenganges zu der vom Angriffspuncte der Kraft durchlaufenen Peripherie* oder, wenn dieser Angriffspunct im Umkreise der Schraubenspindel liegt, *zum Umfange der Schraubenspindel.* Hiernach verhalten sich Kraft und Last umgekehrt wie die von beiden durchlaufenen Wege, so dafs bei der in gleichen Zeiten erfolgenden Umdrehung beider an Geschwindigkeit so viel verloren, als an Kraft gewonnen wird. Kaestner[2] und andere Geometer wollten den Umstand mit in die Theorie aufnehmen, dafs der umgewundene Körper nicht hinlänglich scharf mit der geneigten Ebene verglichen werden könne, weil er beim Umwinden seine Gestalt ändere und nicht stets die nämliche Neigung gegen eine durch die Axe der Schraubenspindel gelegte lothrechte Ebene beibehalte; allein dieses darf bei der mathematischen Construction nicht angenommen werden, und würde ein Fehler des ausübenden Künstlers seyn, wenn es sich in der Wirklichkeit fände.

Aus der Theorie folgt, dafs man die Kraft der Schrauben zunehmend erhöhen könne, wenn man den Umfang der Spindel vermehrt und die Höhe der Schraubengänge vermindert. Beides hat in der praktischen Anwendung seine Grenzen, denn wenn man wegen der Festigkeit des Materials dieselben von Metall verfertigt, so werden sie durch gröfsern

1 Vergl. *Hebel.* Bd. V. S. 108.
2 Dissert. math. et phys. Altenb. 1771. 4. N. 6.

Digitized by Google

Umfang der Schraubenspindel leicht zu schwer, zu mühsam zu schneiden und durch beides zugleich zu kostbar. Die Höhe der Schraubengänge darf aber unter ein gewisses Minimum nicht herabsinken, welches durch die Haltbarkeit derselben gegeben wird. Es müssen nämlich die Zwischenräume zwischen den Schraubengängen auf gleiche Weise vertieft seyn, als die Schraubengänge selbst erhaben sind, und wenn daher 144 Windungen auf einen Zoll Länge kommen, wie bei den feinen, zum genauen Messen der kleinsten Abstände bestimmten Schrauben, den sogenannten *Mikrometerschrauben*, durch Repsold zu Hamburg und noch wohl mehr als dieses durch Fraunhofer wirklich ausgeführt wurde, so beträgt die Dicke des dreikantigen Schraubenganges in der Mitte nur $\frac{1}{216}$ Linie, ist also ebenso fein als Postpapier und kann nicht wohl vermindert werden, wenn selbst der feinste Stahl noch genügende Haltbarkeit behalten soll. Das genaue Schneiden solcher Schrauben, so dafs die Gänge insgesammt in höchster Schärfe von gleicher Dicke und von gleichem Abstande sind, erfordert bei den geübtesten Künstlern die Anwendung mehrfacher feiner Kunstgriffe in Verbindung mit der gröfsten Aufmerksamkeit und durch Uebung erlangter Fertigkeit[1].

Die mitgetheilten Figuren zeigen die Schrauben in derjenigen Gestalt, wie sie meistens angewandt werden, weil hierdurch sogleich die Bequemlichkeit erreicht wird, den Hebelarm am Kopfe der Schraube anzubringen. Eine ähnliche Gestalt giebt man den Schrauben bei den vielfachen Anwendungen derselben, wobei stets die Schraubenspindel umgedreht wird. Seltener ist die Einrichtung, dafs sich die Mutter um die Spindel dreht, wobei erstere entweder ihren Ort nicht verändert, dagegen aber durch die gehobene oder herabgedrückte Spindel die erforderliche Kraft ausübt, oder auf der unbeweglichen Spindel herauf- oder herabsteigt und dabei die Last hebt oder herabdrückt, wie bei den Pendelstangen die

1 Vorzüglich brauchbare Maschinen zum Schneiden der Schrauben nebst einer Anweisung des erforderlichen Verfahrens von Clark findet man in Edinb. Journ. of Science N. Ser. N. IV. p. 273. Sehr gehaltreiche Untersuchungen über die verschiedenen Arten von Schrauben und deren Verfertigung hat Altmütter in Jahrb. des Wien. polyt. Instituts IV. 363. mitgetheilt. Vergl. ebend. V. 204.

Digitized by Google

Linsen gestellt werden. Ein Fall der erstern Einrichtung ist durch die Zeichnung erläutert. Fig. 272.

Um zur Erzeugung einer grofsen Kraft den Hebelarm nicht zu lang zu machen, befestigt man in denjenigen Fällen, wo eine vorzüglich starke Wirkung verlangt wird, an das Ende desselben ein Seil, schlingt dieses um eine Winde und dreht diese vermittelst eines langen Hebelarmes um. Vermittelst solcher vermehrter Hebelverbindungen läfst sich die Gewalt der Schrauben so sehr steigern, dafs selbst bei solchen eisernen, die 4 bis 6 Zoll im Durchmesser haben, die Muttern zerreifsen oder die Schraubengänge zerbrochen werden. Die Kraft der Schrauben kann jedoch auch ohne die Vermehrung der Länge des Hebelarmes erhöht werden, wenn man zwei Schrauben mit einander verbindet, wie W. Hunter erfunden und Melville[1] bekannt gemacht hat. Diese Einrichtung, wie sie bei einer Presse angebracht werden kann, ist in der Zeichnung dargestellt. Fig. 273. Die Schraube A wird in ihrer Mutter umgedreht, die in die obere Querleiste geschnitten ist, die Schraube B hat das ihr zugehörige weibliche Gewinde im Innern der ersten und ist an ihrem untern Ende vermittelst des durchgesteckten Riegels CD auf dem in verticaler Richtung beweglichen Deckel der Presse befestigt. Eine andere Einrichtung erhält die Schraube, wenn beide Gewinde auf dem nämlichen Cylinder geschnitten sind und jedem ein eigenes weibliches Gewinde zugehört, welche beide sich zwar nicht drehen, wohl aber einander nähern und von einander entfernen lassen, welches beides geschieht, wenn die gemeinschaftliche Spindel nach der einen oder der entgegengesetzten Richtung umgedreht wird. Die Theorie dieser Schraube ist höchst einfach. Ist nämlich die Höhe des einen Schraubenganges $= H$, die des andern $= h$, so ist nach der oben angegebenen Formel

$$Q : P = H - h : 2R\pi.$$

Hätte z. B. die Spindel am einen Theile 10 Schraubengänge auf einen Zoll, am andern 12, so würde der zu bewegende Körper durch eine Umdrehung um $\frac{1}{10}$ Zoll gehoben und gleichzeitig um $\frac{1}{12}$ Zoll herabgedrückt, also im Ganzen um

$$\frac{1}{10} - \frac{1}{12} = \frac{2}{120} = \frac{1}{60}\text{stel Zoll}$$

1 Phil. Trans. 1781. T. LXXI. p. 58.

gehoben und durch entgegengesetzte Drehung herabgedrückt werden. Solche Schrauben können wegen des geringen Raumes, den der bewegte Körper durchläuft, auch zu Mikrometerschrauben von gröfster Feinheit gebraucht werden, das Schneiden derselben erfordert aber eine grofse Sorgfalt und Geschicklichkeit.

Aufser den bisher betrachteten Schrauben mit einfachem Gewinde giebt es auch solche mit zwei und auch drei Gewinden, überhaupt könnte deren Zahl beliebig grofs seyn, man geht jedoch in der Wirklichkeit selten über die dreifachen oder höchstens die vierfachen Schraubengänge hinaus. Man theilt bei solchen Schrauben für n Schraubengänge den Umfang der Grundfläche der Schraubenspindel in n Theile, fängt in jedem dieser Puncte einen neuen Schraubengang an und giebt jedem die nfache Höhe, die ein einfacher haben würde. Die Last wird daher gleichzeitig auf so vielen geneigten Ebenen in die Höhe gehoben, als Schraubengänge vorhanden sind, wonach man also für den Zustand des Gleichgewichts den Ausdruck

$$Q : P = nh : 2R\pi$$

erhält. Die bei der Umdrehung der Schraubenspindel anzuwendende Kraft mufs also im gleichen Verhältnisse der Zahl der Schraubengänge vermehrt werden, wofür aber die erreichte Höhe um gleich viel zunimmt. Man gebraucht sie also da, wo man die Geschwindigkeit der Bewegung vermehren will, insbesondere aber für Pressen, die beim Nachlassen der Drehung von selbst wieder zurückgehn sollen.

Greifen die Schraubengänge, anstatt sich in den Vertiefungen der weiblichen Schrauben zu bewegen, in die für diesen Zweck gehörig schräg gearbeiteten Zähne eines Stirnrades ein, so ist letzteres als die Last zu betrachten, die auf der geneigten Ebene hinauf bewegt wird. An dem Rade befindet sich dann zugleich eine Welle mit einem Seile, an welchem die zu hebende Last hängt. Vereinigt man daher das für die Räder geltende Verhältnifs[1] mit dem so eben für die Schraube nachgewiesenen und nennt man den Halbmesser der Welle $= r$, den des Rades aber $= \varrho$, so erhält man für den Zustand des Gleichgewichts

Fig. 274.

1 Vergl. *Rad.* Bd. VII. S. 1151.

$$Q : P = r h : 2 R \pi \varrho.$$

Da auch hierbei die Längen der Hebelarme willkürlich vermehrt werden können, so läfst sich diese Schraube, die eine *Schraube ohne Ende* (*Cochlea infinita; vis sans fin; Endless Screw*) genannt wird, weil sie stets aufs neue wieder in die Zähne des Rades eingreift, zum Heben grofser Lasten mit Anwendung einer geringen Kraft gebrauchen, sie wird aber auch wegen der Langsamkeit der Umdrehung der Welle und des gleichzeitig schnellen Umlaufens der Kurbel zum Messen kleiner Bewegungen gebraucht.

Die Schraube ist wegen der Einfachheit ihrer Construction, des geringen Raumes, den sie einnimmt, und der aufserordentlichen Kraft, die sich damit erzeugen läfst, eine sehr wichtige Maschine. Ehemals hielt man sie für diejenige, womit sich die stärksten Lasten heben liefsen, neuerdings hat man aber gesehn, dafs sie hierin durch die hydraulische Presse noch übertroffen wird[1]. Werden in die oben gegebene Formel zur Vergleichung bestimmte Werthe substituirt und wird also die Kraft des bewegenden Menschen $Q = 30$ ℔, die Höhe des Schraubenganges nur zu 1 Zoll, für R aber ein Hebelarm von 10 Fufs und dieser mit einer Winde verbunden angenommen, die die Kraft abermals um das 10fache vermehrt, so wird in diesem günstigsten Falle

$$P = 30 \times 6{,}283 \times 100 : \tfrac{1}{12} = 226308 \text{ ℔}.$$

und also ein Mensch ohne Rücksicht auf Reibung allerdings die ungeheure Last von 226308 ℔. zu wältigen vermögen; allein diese kommt doch derjenigen, bei weitem nicht gleich, die vermittelst der hydraulischen Presse gehoben werden kann. Zudem aber ist die Reibung bei der letztern Maschine nur ungefähr dem vierten Theile der Kraft gleich, bei der Schraubenpresse ist sie aber gröfser, als die ganze Kraft, weil sonst die Schraube beim Nachlassen der Kraft von selbst wieder zurücklaufen müfste, was jedoch nur bei gewissen, für diesen Zweck absichtlich gearbeiteten, geschieht.

Wie stark die Reibung bei einer Schraube anzunehmen sey, scheint mir nicht blofs schwer, sondern überall kaum bestimmbar zu seyn. Indem nämlich die Schraubengänge sich in einander bewegen müssen, so kommt es sehr darauf an, ob

1 Vergl. *Presse*. Bd. VII. S. 117.

Digitized by Google

sie sich hierbei nicht klemmen oder zwischen einander gepreſst werden. Eine gut geschnittene Schraube muſs nach dem Eingreifen von etwa 3 bis höchstens 4 Gängen nicht mehr schlottern, und sich dann mit stets nahe unverändertem Widerstande durch mäſsigen Kraftaufwand weiter schrauben lassen, so lange sie noch keine Last zu überwinden hat; zugleich muſs sie augenblicklich ganz fest sitzen, sobald sie auf ein unüberwindliches Hinderniſs kommt, woraus man sieht, daſs namentlich die dreikantigen Schraubengänge sich nicht in einander pressen; allein nur selten oder mindestens nicht allezeit trifft man so vollendet geschnittene Schrauben, vielmehr widerstehn auch die minder schlechten der umdrehenden Kraft selbst bei keiner zu hebenden Last bedeutend. Man vermindert die Reibung durch Schmieren, wozu bei den feinsten, namentlich den Mikrometerschrauben, am besten eine höchst kleine Quantität weiſsen Wachses, bei denen an physikalischen und sonstigen Apparaten aber etwas von der für Luftpumpen geeigneten Pomade[1] (aber kein Oel, insbesondere bei den messingnen), bei den schlechtern Oel oder eine sonstige Fettigkeit, bei groſsen hölzernen Seife oder auch Graphitpulver genommen zu werden pflegt, allein dennoch bleibt sie stets noch bedeutend und auf jeden Fall ihre Gröſse schwer bestimmbar. V. Gerstner[2] nimmt als Reibungs-Coefficienten für geschmierte Körper allgemein $m = \frac{1}{4}$ der Last an, welche Gröſse mit der Länge der reibenden Fläche multiplicirt der Höhe hinzuaddirt werden muſs. Die Länge eines Schraubenganges ist aber $= 2r\pi$, wenn r den Halbmesser bezeichnet; und hiernach wird also mit Einführung des Reibungs-Coefficienten in die oben gegebene Formel

$$P = \frac{Q \cdot 2\pi R}{h + m \cdot 2\pi r}.$$

Setzen wir des Beispiels wegen in diese Formel angenommene Werthe und nehmen wir die Kraft des Arbeiters $Q = 30$ ℔, den Hebelarm $R = 6$ Fuſs, die Höhe des Schraubenganges $h = 1$ Zoll, den Halbmesser der Spindel $r = 2$ Zoll, so wird durch Einführung dieser Werthe

---

1 Vergl. *Luftpumpe*. Bd. VI. S. 612.

2 Handbuch der Mechanik u. s. w. Prag 1831. 4. Th. I. S. 522.

Digitized by Google

$$P = \frac{30 \times 6{,}283 \times 6}{1\frac{1}{12} + \frac{1}{8} \times 6{,}283 \times 1\frac{2}{12}} = 5278{,}6 \text{ ℔},$$

statt dafs die gehobene Last P ohne Reibung 13571,28 ℔, also mehr als doppelt so viel betragen würde[1].

Bei der Schraube ist die Last auf das ganze Schraubengewinde vertheilt, welches den Vortheil gewährt, dafs ein einzelner Schraubengang nicht die ganze Last zu tragen hat und daher nicht übermäfsig stark seyn mufs. Ist die Stärke des Körpers bekannt, woraus die Schraube gemacht werden soll, und die Last, die sie zu wältigen hat, so läfst sich hieraus die Zahl der Schraubengänge finden, die sie haben mufs, um den erforderlichen Widerstand zu leisten. In der Regel wird man jedoch den Schraubenmuttern eine mehr als genügende Zahl Windungen geben, und da dieses keinen anderweitigen Nachtheil herbeiführt, also keine weitere Regel erfordert, so übergehe ich diese Untersuchung[2].

Soll eine Schraube beim Nachlassen der bewegenden Kraft von selbst zurückgehn, so mufs die Höhe der Schraubengänge so grofs seyn, dafs die Last von selbst auf der geneigten Ebene herabgleitet. Da aber die Reibung die Anwendung von mehr als der ganzen Kraft erfordert oder diese um mehr als das Doppelte vergröfsert, so folgt hieraus, dafs ein doppeltes Schraubengewinde hierzu nicht genügt. Man giebt also solchen Schrauben, z. B. bei den Papierpressen und Münzpressen, ein dreifaches und bei starker Reibung auch wohl ein vierfaches Gewinde.

Die ausnehmend zahlreichen Anwendungen der Schraube

---

1 Nach Lehmus in v. Crelle Journ. Bd. IV. S. 202. ist die Gleichung zwischen Kraft und Last bei der Schraube mit Rücksicht auf Reibung:

$$Q = \frac{h + \mu . 2r\pi}{2b\pi - \mu h} P,$$

wenn Q, P und h die angenommene Bedeutung behalten, r den Halbmesser der Spindel, b die Länge des umdrehenden Hebels und μ den Reibungscoefficienten bezeichnen. Analytische Untersuchungen über die Reibung männlicher und weiblicher Schrauben von Poncelet findet man ebend. Bd. II. S. 233.

2 S. v. Gerstner a. a. O. Th. I. S. 525. Die gehaltreichen Untersuchungen von Bevan über die Stärke, womit Holzschrauben festhalten, in Philos. Mag. and Ann. II. 291. Ann. Ch. Ph. XXXVI. 419., erwähne ich nur beiläufig.

Digitized by Google

bieten dem gröfsten Theile nach kein bedeutendes Interesse dar und es verlohnt sich nicht der Mühe, sie einzeln aufzuzählen oder genau zu beschreiben. Am meisten werden sie zu den zahlreichen Pressen angewandt, deren mehrere bereits im Art. *Presse* namhaft gemacht worden sind. Eine kurze Beschreibung verdienen jedoch die mit Schrauben versehenen Winden, da diejenigen, bei denen ein Rad mit Getriebe angebracht ist, gleichfalls namhaft gemacht worden sind[1]. Es giebt zwei Constructionen derselben, die sich nicht wesentlich unterscheiden; doch wird die eine die französische, die andere die englische genannt, weil sie in beiden Ländern am meisten gebräuchlich sind. Die *französische Winde* (Cric) hat das Gestell nebst dem obern und untern Träger p f und g k mit den deutschen gemein, aus- Fig. 275.
genommen dafs der obere in 4 Spitzen ausläuft und der untere gleichfalls zwei aufstehende Haken hat, wovon jedoch nur der eine an der einen Seite in der Zeichnung ausgedrückt werden konnte. Auf der festen Unterlage n o ruht dann der abgekürzte Kegel mit der in ihm geschnittenen weiblichen Schraube. Sein oberer Rand ist in Zähne von geeigneter Gestalt ausgeschnitten, in welche die Windungen der Schraube ohne Ende a b eingreifen. Zu gröfserer Deutlichkeit ist die- Fig. 276.
ser unterscheidende Haupttheil der Maschine durch eine besondere Zeichnung deutlich gemacht.

Die *englische Winde* oder der englische Heber (*Jack*) hat eine Einrichtung, die sie geeignet macht, die schwersten Lasten zu heben, weswegen sie auch vorzugsweise zum Aufwinden der Dachstühle und zum Heben sonstiger schwerer Lasten angewandt wird. Der Körper und die Tragstange, auf welche die männliche Schraube geschnitten wird, sind wie bei allen Winden, jedoch hat der Körper unten keine Spitzen, Fig. 277.
sondern ruht auf einer grofsen Fläche, da bei dem Heben so bedeutender Lasten ein Ausgleiten nicht so leicht zu fürchten ist, zu dessen Vermeidung beim schrägen Stande der Winde die Zacken unten angebracht zu werden pflegen. In der obern Fläche ist ein starkes und grofses gezahntes Rad versenkt, in dessen geeignet geschnittene Zähne die Windungen der Schrau- Fig.
be ohne Ende a b eingreifen. In der bedeutend dickeren Mitte 278.
dieses auf breiter Unterlage ruhenden Rades ist die weibliche

1 S. Art. *Rad.* Bd. VII. S. 1160.

Digitized by Google

Schraube eingeschnitten, durch deren Umdrehung um die Windenstange diese mit der auf ihr liegenden Last gehoben wird.

Zur Berechnung beider Winden möge zuerst die Bezeichnung der Gröfsen für die Schraube ohne Ende beibehalten werden; es sey dann W der Widerstand an der Schraubenspindel, der Halbmesser des horizontalen Rades $= \varrho$, der Halbmesser der Schraubenspindel $= r$ und die Höhe eines Schraubenganges derselben $= h'$, die ganze zu hebende Last $= P'$, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P &= h : 2\pi R \\ P : W &= r : \varrho \\ W : P' &= h' : 2\pi r \\ \hline Q : P' &= h \times h' : 2\pi R \times 2\pi r. \end{aligned}$$

Ist z. B. $R = 12$ Zoll, $r = 8$ Z., $h = \frac{2}{3}$ Z. und $h' = 1{,}5$ Zoll, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P' &= \tfrac{2}{3} \times \tfrac{1}{2} : 6{,}283 \times 12 \times 6{,}283 \times 8. \\ &= 1 \quad : 3789{,}7. \end{aligned}$$

Man sieht hieraus, was für eine enorme Kraftvermehrung diese Maschinen geben, wenn man die Reibung unberücksichtigt läfst. Die Reibung ist hierbei aber noch gröfser, als bei der einfachen Schraube, denn sie kommt bei beiden Schrauben vor und aufserdem bei den Zapfen der Schraube ohne Ende, vorzüglich aber wächst sie durch diejenige, welche die Scheibe mit der Schraubenmutter erleidet, auf welcher die ganze Last ruht, so dafs nach v. Gerstner die erforderliche Kraft durch die gesammte Reibung ungefähr siebenmal so grofs wird, als sie ohne dieselbe seyn würde.

M.

Schwefel.

Sulphur; Soufre; *Sulphur.* Dieses seit undenklichen Zeiten bekannte, nicht metallische Element findet sich vorzüglich im gediegenen Zustande, in vielen Schwefelmetallen und in schwefelsauren Salzen. Der gediegene Schwefel wird durch Destillation von beigemengter Erde befreit. Aus Schwefelkies und Kupferkies gewinnt man den Schwefel theils durch Rösten, theils durch Erhitzen in irdenen Röhren. Doch

Digitized by Google

bedarf er noch der Reinigung von beigemengten Erz- und Steintheilchen entweder durch Schmelzen, Subsidiren und Decantiren, oder durch Destillation oder durch Sublimation. Der geschmolzene oder der destillirte Schwefel, in Stangenform gebracht, liefert den Stangenschwefel; der sublimirte stellt die Schwefelblumen dar, welchen man die anhängende Säure durch Wasser entziehn kann.

Der Schwefel krystallisirt theils in schiefen rhombischen Oktaëdern, theils, namentlich beim Erkalten nach der Schmelzung, in schiefen rhombischen Säulen, ist also dimorph[1]. Er hat ein spec. Gewicht von 2,000, ist sehr spröde und knistert beim Erwärmen in der Hand durch Bildung von Rissen. Seine blafsgrünlichgelbe Farbe geht bei jedesmaligem Erhitzen in die gelbbraune über; seine lichtbrechende Kraft ist bedeutend. Er schmilzt bei 109° zu einer braungelben öligen Flüssigkeit, wird bei 144° dunkelrothbraun und dickflüssig, wie Terpentin, bei höherer Temperatur wieder dünnflüssiger, und kommt bei 293° ins Sieden, wobei er sich in einen pomeranzengelben Dampf verwandelt. Er leitet nicht die Elektricität und wird beim Reiben stark negativ elektrisch.

Der Schwefel bildet mit Sauerstoff 4 Säuren: die *unterschwefelige Säure* (16 Schwefel auf 8 Sauerstoff) ist nur in einigen Salzen bekannt, aus denen sie durch eine stärkere Säure geschieden sogleich in schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zerfällt.

Die schwefelige Säure (16 Schwefel auf 16 Sauerstoff) entsteht vorzüglich beim Verbrennen des Schwefels. Unter — 10° ist sie eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit von 1,42 bis 1,45 spec. Gewicht. Da ihr Siedepunct schon bei — 10° C. liegt, so veranlafst ihre Vergasung, besonders im luftleeren Raume, eine bedeutende Erkältung, wodurch sie selbst zum Theil zu weifsen Flocken gefriert. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint die schwefelige Säure als ein farbloses Gas von 2,2186 spec. Gewicht, von dem bekannten erstickenden Geruche des verbrennenden Schwefels, Lackmus röthend, mit einigen andern organischen Farbstoffen farblose Verbindungen eingehend und von $\frac{1}{10}$ Mafs Wasser verschluckbar. Ihre Verbindungen mit Salzbasen werden in der Glühhitze

1 Vergl. *Krystallogenie*. Bd. V. S. 1351.

sämmtlich zerstört; der Luft im befeuchteten Zustande dargeboten verwandeln sie sich in schwefelsaure Salze; mit stärkerer Säure übergossen entwickeln sie die durch ihren Geruch kenntliche schwefelige Säure.

Die *Unterschwefelsäure* (16 Schwefel auf 20 Sauerstoff) ist nur in ihren Verbindungen mit Wasser und Salzbasen bekannt. Das Hydrat ist eine farblose, schwere, sehr saure Flüssigkeit, welche bei gelindem Erhitzen in sich entwickelnde schwefelige Säure und zurückbleibendes Schwefelsäurehydrat zerfällt. Alle unterschwefelsauren Salze sind im Wasser löslich und zerfallen beim Erhitzen, auf ähnliche Weise wie das Hydrat, in schwefligsaures Gas und schwefelsaures Salz.

Die *Schwefelsäure* (16 Schwefel auf 24 Sauerstoff) sublimirt sich beim Erhitzen des rauchenden Vitriolöls in einer Retorte im wasserfreien Zustande als eine aus weifsen, seidenglänzenden, zarten Nadeln bestehende, amianthartige, zähe, höchst saure und ätzende Masse, von 1,95 spec. Gewicht, bei 24° zu einer öligen Flüssigkeit schmelzend, bei etwas höherer Temperatur einen farblosen Dampf bildend, der jedoch an der Luft, mit deren Feuchtigkeit sich die Schwefelsäure zu Vitriolöl verdichtet, einen äufserst dicken, weifsen, erstickenden Nebel erzeugt. Die Schwefelsäure hat eine sehr grofse Affinität zum Wasser, verbindet sich mit demselben unter heftiger Wärmeentwickelung und Zischen und zieht es begierig aus der Luft an. Mit wenig Wasser bildet sie die concentrirte Schwefelsäure oder das Vitriolöl, mit mehr Wasser die verdünnte Schwefelsäure. Man unterscheidet rauchendes, braunes oder deutsches und weifses oder englisches Vitriolöl. Ersteres wird durch Destillation des vorher an der Luft gerösteten und dadurch in schwefelsaures Eisenoxyd verwandelten Eisenvitriols[1] in irdenen Retorten erhalten; letzteres durch Verbrennen des Schwefels in grofsen, meist mit Bleiplatten ausgekleideten Behältern, den Bleihäusern, die Luft, salpetrige Säure und Wasser enthalten, durch deren gemeinschaftliche Wirkung die durch das Verbrennen des Schwefels gebildete schwefelige Säure in Schwefelsäure verwandelt wird. Diese mischt sich dem auf dem Boden des Bleihauses befindlichen Wasser bei, welches, so oft es hinreichend damit beladen ist,

1 S. *Eisen.* Bd. III. S. 158.

Digitized by Google

in Gefäfsen von Glas oder Platin bis zur möglichsten Concentration abgedampft wird. Das rauchende Vitriolöl ist hellbraun, von 1,896 oder weniger spec. Gewicht, gefriert schon etwas über 0°, stöfst, besonders beim Erwärmen, Dämpfe wasserfreier Schwefelsäure aus und geht daher bei fortgesetztem Erhitzen in gewöhnliches, nicht rauchendes Vitriolöl über. Das englische Vitriolöl, welches etwas mehr Wasser enthält, ist farblos oder sehr blafsbraun, von 1,845 spec. Gewicht, gefriert erst bei — 25°, raucht nicht an der Luft, siedet bei 327° und verdampft hierbei als Ganzes; hält es, wie dieses oft der Fall ist, noch mehr Wasser, so verflüchtigt sich dieses zuerst. Zu manchen Zwecken wird das Vitriolöl durch Destillation gereinigt, rectificirt, wobei man das zuerst Uebergehende entfernt.

Alle Arten von *Vitriolöl* sind ölartig, schwärzen und zerfressen Holz und andere organische Stoffe und mischen sich mit Wasser unter bedeutender Erhitzung, die verdünnte Schwefelsäure bildend, deren spec. Gewicht mit ihrem Gehalte an Schwefelsäure abnimmt. Die Schwefelsäure hat gegen die Salzbasen eine der gröfsten Affinitäten. Die meisten schwefelsauren Salze halten für sich die Glühhitze ohne Zersetzung aus, werden aber in Berührung mit Kohle und andern brennbaren Stoffen zersetzt und meistens zu Schwefelmetallen reducirt. Die am wenigsten in Wasser löslichen schwefelsauren Salze sind die des Baryts, Strontians und Bleioxyds, besonders der schwefelsaure Baryt, daher lösliche Barytsalze häufig als Reagentien für Schwefelsäure und umgekehrt Schwefelsäure für Baryt angewandt werden.

Mit Wasserstoff erzeugt der Schwefel folgende 2 Säuren: *Die hydrothionige Säure* (80 Schwefel auf 1 Wasserstoff) ist eine schwere, ölige, bräunlichgelbe, durchsichtige Flüssigkeit, von Schwefelgeruch und heifsem bitterem Geschmack, leicht in sich entwickelnde Hydrothionsäure und zurückbleibenden Schwefel zerfallend, nicht in Wasser löslich. Von ihren Salzen kennt man blofs die hydrothionigsauren Alkalien, welche in wässeriger Gestalt gelbbraune Flüssigkeiten darstellen, durch den Sauerstoff der Luft unter Fällung von Schwefel in unterschwefeligsaure Alkalien sich verwandelnd und bei Zusatz überschüssiger Salzsäure die unzersetzte hydrothionige

Digitized by Google

Säure absetzend, während durch weniger Salzsäure unter Entwickelung von Hydrothionsäure Schwefel gefällt wird.

Die *Hydrothionsäure* oder *Schwefelwasserstoffsäure* (16 Schwefel auf 1 Wasserstoff) wird vorzüglich durch Auflösung eines schicklichen Schwefelmetalls, z. B. des Schwefeleisens, in wässeriger Salz- oder Schwefelsäure erhalten. Läfst man die Salzsäure auf das Schwefeleisen nach Faraday's Art in dem einen Schenkel einer starken zugeschmolzenen Glasröhre einwirken, so sammelt sich in dem andern erkälteten Ende derselben die Hydrothionsäure als eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit, nach Faraday von 0,9, nach Niemann von nur 0,6 spec. Gewicht, dennoch an lichtbrechender Kraft das Wasser übertreffend. Bei gewöhnlichem Luftdruck erscheint die Hydrothionsäure als ein farbloses Gas von 1,1786 spec. Gewicht, von widerlichem Geruch und von narkotisch erstickender Wirkung beim Einathmen, mit blafsblauer Flamme verbrennbar. 1 Mafs Wasser absorbirt gegen 3 Mafs dieses Gases, die wässerige Hydrothionsäure oder das Schwefelwasserstoffwasser bildend, eine farblose Flüssigkeit von süfslichem Geschmak und schwacher Lackmus röthender Wirkung, aus welcher beim Luftzutritt unter Oxydation des Wasserstoffs der Schwefel niedergeschlagen wird. Die hydrothionsauren Alkalien sind farblos; sie verwandeln sich, bei abgehaltener Luft erhitzt, unter Wasserentwickelung in Schwefelmetalle; durch die oxydirende Wirkung der Luft gehn sie zuerst in hydrothionigsaure, dann in unterschwefeligsaure Salze über; mit fast allen Säuren entwickeln sie die Hydrothionsäure in Gasgestalt, Verbindungen der Hydrothionsäure mit schweren Metalloxyden scheinen nur wenige zu existiren, weil sich die Säure mit den meisten derselben augenblicklich in Wasser und Schwefelmetall zersetzt, daher sie auch aus vielen Auflösungen derselben in Säuren Schwefelmetalle fällt, die durch besondere, meist dunkle Farben ausgezeichnet sind, so dafs sie deshalb ein wichtiges Reagens für die schweren Metalle abgiebt.

Der *Chlorschwefel* (32 Schwefel auf 36 Chlor) ist eine gelbbraune, schwere, leicht verdampfbare, an der Luft einen dicken, heftig riechenden Nebel ausstofsende Flüssigkeit, durch Wasser in Salzsäure, schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zersetzbar. Der *Bromschwefel* ist ebenfalls flüssig

Digitized by Google

und dunkelroth. Der *Iodschwefel* ist schwarzgrau, metallglänzend, strahlig. Der *Selenschwefel* ist pomeranzengelb und leicht schmelzbar[1]. Der Schwefel vereinigt sich mit allen Metallen, mit vielen unter Feuerentwickelung. Die Schwefelmetalle sind fest und spröde und theils durchsichtig, theils metallglänzend. Die meisten Schwefelmetalle bleiben, für sich erhitzt, unverändert, während bei Luftzutritt Oxydation des Schwefels und zum Theil auch des Metalls erfolgt. Mehrere sind im Wasser zu hydrothionsauren Metalloxyden löslich.

G.

Schwere.

Gravitas; Gravité, Pesanteur; *Gravity.*

Man unterscheidet nicht selten die *Schwere der Himmelskörper* und der *Körper auf der Erde*, und bei den letzteren ihre *absolute*, *relative* und *specifische* Schwere, wonach sie also absolut, relativ und specifisch schwer genannt werden. Um einer hieraus nothwendig folgenden, dem Wesen der Sache widerstreitenden Unbestimmtheit der Begriffe zu entgehn, ist es am besten, die in diesem Werke gleich anfangs festgesetzte Bedeutung der Worte[2] allgemein beizubehalten. Hiernach ist die *Schwere* nichts anders, als die Wirkung der Anziehung, welche der Erdball gegen alle ihm zugehörige und in (verhältnifsmäfsig zum Halbmesser) geringer Entfernung von demselben befindliche Körper ausübt. Mit ihr dem Wesen nach identisch ist zwar die gegenseitige Wirkung der Attraction aller Weltkörper, die nach Newton sogenannte *allgemeine Schwere*, allein man nennt diese letztere auch *Gravitation*, welcher Sprachgebrauch am besten beibehalten wird. Diesemnach giebt es also keine absolute, relative und specifische Schwere, wohl aber ein absolutes, relatives und specifisches *Gewicht*[3]; bis jetzt aber erlaubt der Sprachgebrauch noch nicht, die verschiedenen Körper mit gleicher Consequenz der Wortbedeutungen absolut, relativ und specifisch *gewichtig*

---

1 Die Verbindungen mit Phosphor, Boron und Kohlenstoff s. oben Bd. VII. S. 471. Bd. I. S. 1100. Bd. V. S. 913.

2 S. *Anziehung*. Bd. I. S. 346.

3 Kaestner Anfangsgründe der höhern Mechanik. S. 33.

Digitized by Google

zu nennen, indem hierfür noch stets das Wort schwer (nicht ganz mit Recht) gebraucht wird, wie aus dem eigentlichen Wesen der Sache von selbst hervorgeht.

Die Erscheinung der Schwere oder des Angezogenwerdens aller sogenannten wägbaren Stoffe durch die Erde zeigt sich überall, indem in Gemäfsheit derselben alle Körper unausgesetzt ein gleichmäfsiges Bestreben äufsern, wenn sie nicht unterstützt sind, gegen die Erde zu fallen, wenn sie aber auf einer nicht weichenden Unterlage ruhn, stets mit gleicher Stärke gegen diese zu drücken. Beides ist im Wesentlichen gleich, und man kann daher sagen, dafs ein jeder Körper stets und unter allen Umständen, sey er ruhend oder in Bewegung, das Bestreben habe, gegen die Erde zu fallen. Welche Bewegung und in welcher Richtung jeder gegebene Körper daher auch hat, so wird er dem Einflusse der Schwere stets ausgesetzt seyn; er wird ihrer Kraft daher auch folgen, mithin stets nach dem nämlichen Gesetze fallen, sofern diese Wirkung nicht durch anderweitige Hindernisse oder entgegengesetzte Kräfte aufgehoben oder vermindert ist.

Wenn angenommen wird, dafs die Schwere der Körper eine Wirkung der Anziehung sey, welche die Erde gegen dieselben ausübt, so folgt hieraus der wichtige Satz, *dafs alle Materie gleich schwer sey;* denn indem die allen Theilchen der Erde zukommende Anziehung, deren Gesammtwirkung im Mittelpuncte der Erde vereinigt gedacht dasjenige erzeugt, was wir Schwere nennen, auf jedes in mäfsiger Entfernung[1] von der Oberfläche der Erde befindliche Element eines wägbaren Körpers gleichmäfsig wirkt, so mufs bei gleicher Ursache auch die Wirkung gleich, also alle Materie gleich schwer seyn. Sollte eine Ungleichheit der Schwere statt finden, so müfste diese entweder in einem Wechsel der Anziehungskraft von Seiten der Elemente des Erdkörpers oder von Seiten der angezogenen Partikeln gegründet seyn. Das Erstere ist kaum

1 Die Schwere, als Anziehung der Erde vorgestellt, wirkt zwar in jede beliebige Ferne, allein sobald diese eine bedeutende Gröfse erreicht, den Halbmesser der Erde als Einheit angenommen, gilt die Benennung Gravitation. Wollte man bestimmter unterscheiden, so könnte man die Schwere sich bis dahin erstrecken lassen, wo die Körper noch gleichzeitig mit der Erde rotiren, also bis 6,67 Erdhalbmesser.

Digitized by Google

denkbar, weil sich nicht wohl vorstellen läfst, wie eine der Materie der Erde einmal zukommende Kraft gegen gewisse Substanzen nicht statt finden oder eine Modification erleiden sollte; letzteres ist gleichfalls mindestens nicht wahrscheinlich, insofern die Materie blofs als solche hierbei in Betrachtung kommt. Man könnte jedoch annehmen, dafs in dieser Hinsicht eine gleiche Verschiedenheit vorkomme, als sich bei der Anziehung in der chemischen Verwandtschaft zeigt, allein hiergegen streitet der Umstand, dafs bei der Schwere die Materie blofs als solche und nicht rücksichtlich ihrer sonstigen Qualitäten in Betrachtung kommt. Newton[1] suchte jedoch diese Frage auf dem Wege der Erfahrung zu beantworten. Zu diesem Ende liefs er an einer Pendelstange eine hohle Kapsel schwingen, füllte diese abwechselnd mit verschiedenen Substanzen, machte die Vorrichtungen so, dafs die bei Pendeln zu berücksichtigenden Bedingungen einander völlig gleich waren, und fand, dafs sie jederzeit gleiche Schwingungszeiten einhielten, wonach also die sämmtlichen geprüften Körper gleich schwer seyn mufsten. Verschiedene Gelehrte haben seitdem die Frage aufgeworfen, ob nicht solche Körper, die aufser der Schwere auch durch die magnetische Kraft nach der Erde hin gezogen werden, sich als schwerer zeigen, allein wegen der Schwierigkeit, solche Versuche anzustellen, begnügte man sich stets mit den durch Newton erhaltenen Resultaten. Neuerdings hat indefs Bessel[2], dessen ausnehmende Genauigkeit und Uebung in der Behandlung der Pendel sattsam bekannt sind, jene Versuche mit gewohnter Sorgfalt wiederholt, dabei sowohl magnetisches als auch unmagnetisches Eisen und selbst auch Meteorsteinmasse angewandt, alle Körper aber gleich schwer gefunden, so dafs der Satz, *alle Materie ist gleich schwer*, jetzt durch Theorie und Erfahrung fest begründet ist.

Wird die Gesammtwirkung der Anziehung der Erde gegen ein Körperelement = w angenommen und besteht ein gegebener Körper aus n solchen Elementen, so ist seine Schwere = n w; besteht ein anderer Körper aus m derselben, so ist sie = m w. Wollte man hieraus folgern, die Schwere beider

1 Principia. Lib. III. prop. VI. Theor. 6.

2 Astron. Nachrichten. 1832. N. 223. Ausführlicher in G. Cl. 401.

verhalte sich wie n:m und müsse also verschieden seyn, so würde dieser Schluſs auf einer falschen Ansicht beruhn. Allerdings ist nämlich bei dem einen Körper die nämliche Kraft w nur n mal, bei dem andern aber m mal thätig, allein dafür müssen auch bei jenem nur n, bei diesem aber m Elemente bewegt werden, und jedes einzelne Element wird daher nur mit einer gleichen Kraft bewegt, kann sich daher nur gleich schwer zeigen, oder in Zeichen ausgedrückt ist die Schwere des einen Körpers $W = \frac{w\,m}{m}$, des andern $W' = \frac{w\,n}{n}$, folglich $W = W'$. Die Schwere aller Körper kann sonach nur gleich groſs seyn, sofern jedes ihrer Elemente durch eine gleiche Kraft afficirt wird; wird aber gefragt, mit welcher Kraft jeder dieser Körper gegen ein widerstehendes Hinderniſs vermöge seiner Schwere drücke, so bezieht sich diese Bestimmung offenbar auf die Summe der einzelnen, durch die Schwere afficirten Elemente und muſs daher dieser direct proportional seyn. Die Summe der hierbei wirksamen, durch die Schwere afficirten Elemente heiſst dann das *Gewicht* und, wenn bei der Bestimmung desselben zugleich auf das Verhältniſs seines Volumens zu dem irgend eines andern Körpers Rücksicht genommen wird, das *specifische Gewicht*. Es giebt sonach nur eine absolute und unveränderliche Schwere aller Körper, dagegen ein verschiedenes absolutes und auch relatives oder specifisches Gewicht derselben [1].

Von der Anwesenheit und unablässigen Wirksamkeit derjenigen Kraft, die wir hiernach mit dem Ausdruck: *Schwere* bezeichnen, überzeugt uns die tägliche Erfahrung dadurch, daſs alle wägbare Körper das unablässige Bestreben zeigen, sich der Erde zu nähern, oder daſs sie ohne vorhandenes Hinderniſs stets gegen dieselbe fallen. Ob die hierbei wirksame Kraft bloſs unserer Erde angehöre, oder sich auch auf andern Himmelskörpern thätig zeige, war lange Zeit zweifelhaft, und konnte überhaupt erst zur nähern Untersuchung kommen, nachdem Galileo Galilaei vermittelst der eben entdeckten Fernröhre aufgefunden hatte, daſs der Mond, die

1 Ueber die Schwierigkeiten, die rücksichtlich der in der Stöchiometrie angenommenen ungleichen Atomengewichte aus dieser Vorstellung hervorgehn, ist im Art. *Materie* gehandelt.

Digitized by Google

Sonne und die Planeten sphäroidische, um ihre Axe rotirende Körper und hiernach also unserer Erde ähnlich seyen. Newton brachte es zur Gewifsheit, dafs die nämliche und nach gleichen Gesetzen wirksame Kraft, welche die Körper gegen unsere Erde fallen macht, allen zu unserm Sonnensysteme gehörigen Körpern eigen ist und in Verbindung mit der Schwungkraft, vermöge deren sie in der Tangente ihrer Bahnen in Folge der Trägheit sich fortzubewegen streben, ihren steten Umlauf um einander bedingt. Die verwickelten Bahnen zu construiren, in denen diese Körper sich hiernach in Folge der Trägheit und gegenseitigen Anziehung bewegen müssen, ist die vorzüglichste Aufgabe der Astronomie, und zwar des speciellen Zweiges derselben, den man die Mechanik des Himmels nennt. Diese, durch Newton genauer bezeichnete, der Masse direct und den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportionale Anziehung heifst die *Newton'sche Attraction*[1]. Ob diese sogenannte *allgemeine Schwere* durch die gesammten unermefslichen Himmelsräume wirksam sey, ist zwar noch nicht durch Erfahrung ausgemittelt, auf jeden Fall aber sehr wahrscheinlich; gleich schwierig und der Entscheidung künftiger Zeiten vorbehalten ist aber die Frage, ob die Bewegungen der Himmelskörper durch diese allgemeine Schwere in Verbindung mit der Trägheit allein bedingt werden, oder ob noch andere Kräfte dabei thätig sind, die einige Gelehrte nicht ohne scheinbaren Grund in der magnetischen Anziehung finden wollten.

Wenn man die Schwere als eine Kraft betrachtet, welche durch die einem jeden Körperelemente zukommende Anziehung erzeugt wird, so mufs sie jedem Körper eigen und der Masse desselben direct proportional seyn. Hiernach wird also die Erde nicht blofs jeden im Bereiche dieser ihrer Kraft befindlichen Körper anziehn, sondern auch von ihm wieder angezogen werden, der Körper wird daher nicht blofs gegen sie, sondern sie selbst wird zugleich gegen den Körper zu fallen streben. Bei den gröfsern Himmelskörpern ist dieses allerdings zu berücksichtigen und zeigt sich auch namentlich bei der Ebbe und Fluth, die irdischen Körper sind jedoch meistens an Masse zu gering, so dafs diese ihre Wirkung

1 Vergl. La Place Système du monde T. II. p. 1 ff.

Digitized by Google

verschwindet; blofs bei der Anziehung des Bleiloths durch grofse Gebirgsmassen wird sie wahrnehmbar[1].

Den Hauptsatz der Schwere, dafs ein Körperelement (*corpusculum*), welches aufserhalb einer Kugelfläche liegt, wenn es nach allen Puncten derselben gravitirt, vom Centrum der Kugel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft angezogen werde, hat Newton[2] auf eine elementare Weise zu begründen gesucht. Es seyen a h k b und
Fig. 279. A H K B zwei Sphären von gleichen Durchmessern; p und P die zwei Puncte aufserhalb derselben in ihren verlängerten Durchmessern a b, A B. Man ziehe die Linien p k und P K, p l und P L, welche gleiche Segmente h k und H K, i l und I L abschneiden, so liegt zwischen diesen der verschwindend kleine Bogen k l und K L. Aus dem Mittelpuncte der Kugel fälle man die Perpendikel s e und S E, s d und S D auf p l und P L, p k und P K, ferner i q und I Q auf p b und P B, i r und I R auf p k und P K. Nimmt man die Winkel d p e und D P E als verschwindend klein an, so ist s d = S D und s e = S E, man kann also p e = p f, P E = P F, d f = D f annehmen, indem ihre Grenze beim Verschwinden der genannten Winkel das Verhältnifs der Gleichheit ist. Dieses angenommen hat man:

$$\begin{array}{l} PI : PF = RI : DF \\ pf : pi = (df = DF) : ri \\ \hline PI.pf : PF.pi = RI : ri. \end{array}$$

oder die Bogen statt der Tangenten genommen = IH : ih.

$$\begin{array}{l} PI : PS = IQ : SE. \\ ps : pi = (se = SE) : iq. \\ \hline PI.ps : PS.pi = IQ : iq. \end{array}$$

Beide Verhältnisse verbunden geben

$$PI^2.pf.ps : pi^2.PF.PS = RI.IQ : ri.iq.$$
$$= IH.IQ : ih.iq.$$

Es drückt aber IH . IQ : ih . iq das Verhältnifs der zu den Bogen IH und ih gehörigen Kugelstreifen aus, die durch Umdrehung der beiden Figuren akb und AKB um die Axen pb

---

1 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 944.

2 Phil. Nat. Princ. I. Sect. XII. Prop. LXXI. Theor. XXXI. p. 269. ed. Tessanek.

Digitized by Google

und PB erzeugt werden. Die Kräfte aber, womit beide Kugelstreifen die aufser ihnen liegenden Puncte p und P anziehn, sind nach der Hypothese der Gravitation den Flächen direct und den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional, welches dadurch ausgedrückt wird, dafs

$$\frac{IH.IQ}{PI^2} : \frac{ih.iq}{pi^2} = pf.ps : PF.PS.$$

Aus der Anziehung nach pi und PI folgt aber vermöge der Zerlegung der Kräfte die Anziehung in der Richtung der Durchmesser

$$\frac{PQ}{PI} = \frac{PF}{PS} \text{ und } \frac{pq}{pi} = \frac{pf}{ps},$$

daher ist das Verhältnifs der Anziehungen beider Kugelstreifen gegen die Puncte P und p in der Richtung der Axen AB und ab

$$\frac{PF.pf.ps}{PS} : \frac{pf.PF.PS}{ps} = ps^2 : PS^2.$$

Auf gleiche Weise läfst sich der Satz für die zu den Bogen KL und kl gehörigen Kugelstreifen beweisen und sofort für alle Kugelstreifen, also auch für ihre Summe oder für die Kugeloberfläche und somit für die ganze Kugel, wenn man diese aus lauter dünnen Kugelflächen bestehend annimmt.

Man übersieht jedoch bald, dafs dieser Beweis auf der Gleichheit von df und DF beruht, welche aber nur dann statt findet, wenn die Entfernungen der Puncte p und P gegen die Halbmesser der Kugeln beträchtlich grofs sind, sonst aber kann derselbe nicht unbedingt angenommen werden. G. G. Schmidt[1] hat dieses näher gezeigt und einen andern eleganten Beweis für diesen Newton'schen Hauptsatz geliefert.

Man nehme ein verschwindendes ringförmiges Element der Kreisfläche abd, wovon jedes Element den aufserhalb gelegenen Punct p nach der Richtung ap, bp u. s. w. anzieht. Hieraus entsteht eine nach pc ziehende Kraft, welche sich zu dem schiefen Zuge wie pc:pa verhält. Es sey dann der Halbmesser des Kreises $= x$, die Entfernung $pc = a$, so ist $pa = \sqrt{a^2 + x^2}$. Das kleine ringförmige Element ist $= 2xdx\pi$, und sofern die Kraft der Anziehung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional genommen wird, die erhaltene Fig. 280.

1 Münchener Denkschr. 1808. S. 291.

Gröfse aber im Verhältnifs von p c : p a zu nehmen ist, wird der lothrechte Zug des verschwindenden Elements

$$= \frac{2xdx\pi}{a^2+x^2} \times \frac{a}{\sqrt{a^2+x^2}}.$$

Hiervon das Integral genommen giebt die Anziehung der Kreisfläche gegen den Punct c

$$\int 2a\pi\,(a^2+x^2)^{-\frac{3}{2}}x\,dx = \frac{-2\pi a}{\sqrt{a^2+x^2}} + C.$$

Soll dieses Integral für $x = 0$ verschwinden, so wird $C = 2\pi$ und das vollständige Integral

$$= 2\pi\left(1 - \frac{a}{\sqrt{a^2+x^2}}\right).$$

Fig. 281. Um hieraus die Anziehung einer Kugel zu finden, sey a d b e eine Kugel, in deren verlängertem Durchmesser sich der angezogene Punct p befindet. Es sey a b ein auf den Durchmesser der Kugel senkrechter Kreis vom Halbmesser c b = y, die Entfernung d c vom Pole d sey = x, die Entfernung des Poles d vom Puncte p sey = a, so ist die Anziehung der Fläche, wenn in der oben gefundenen Formel a + x statt a und y anstatt x gesetzt wird,

$$2\pi\left(1 - \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+y^2}}\right).$$

Man findet dann die Anziehung eines beliebigen Kugelabschnittes gegen den Punct p, wenn man dieses Integral mit d x multiplicirt, aus der bekannten Gleichung für den Kreis $y^2 = 2rx - x^2$ setzt und das Integral so nimmt, dafs es für $x = 0$ verschwindet. Das Differential des Anziehung des Kugelabschnittes ist sonach

$$2\pi dx - \frac{2\pi(a+x)dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}}.$$

Um das Integral für den zweiten Theil dieses Differentials zu erhalten, setze man

$$\frac{x\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}} = \frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha+\beta x}}$$

und $(\alpha+\beta x)^{-\frac{1}{2}} = z$, also $(\alpha+\beta x)^{\frac{1}{2}} = z^{-1}$, so wird

Digitized by Google

$$x = \frac{z^{-2} - \alpha}{\beta} \text{ und } dx = -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz,$$

wonach

$$\frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha+\beta x}} = \frac{z^{-2}-\alpha}{\beta} \times -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz \times z$$

$$= -\frac{2}{\beta^2} (z^{-2} - \alpha) z^{-2} dz$$

$$= \frac{-2z^{-4} dz + 2\alpha z^{-2} dz}{\beta^2},$$

und diesemnach ist

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha+\beta x}} = \frac{\frac{2}{3}z^{-3} - 2\alpha z^{-1}}{\beta^2}.$$

Hierin die Werthe für α und β und z substituirt giebt

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}} = \frac{\frac{1}{3}[a^2+2(a+r)x]^{\frac{3}{2}} - 2a^2[a^2+2(a+r)x]^{\frac{1}{2}}}{4(a+r)^2},$$

$$\int \frac{a\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}} = \frac{a}{a+r}\sqrt{a^2+2(a+r)x},$$

$$\int dx = x,$$

wodurch die drei Integrale der obern Differentialgleichung gegeben sind. Zieht man die beiden erstern von letzterer ab, multiplicirt mit 2π und setzt die gehörige Constante für $x=0$ hinzu, so erhält man die Anziehung des Kugelabschnittes

$$2\pi\left\{x - \sqrt{(a^2+2(a+r)x)}\left(\frac{\frac{1}{3}(a^2+2(a+r)x)+2a^2+4ar}{4(a+r)^2}\right) + \frac{a(\frac{1}{3}a^2+4ar)}{4(a+r)^2}\right\}.$$

Um die Anziehung der ganzen Kugel zu erhalten, darf man nur $x = 2r$ setzen, welches, wenn man wegstreicht, was sich aufhebt, giebt

$$\frac{\frac{4}{3}r^3\pi}{(a+r)^2}.$$

Es ist aber der Zähler dieses Bruches der Ausdruck für den Inhalt der Kugel und $a+r$ die Entfernung des Punctes p vom Mittelpuncte der Kugel, woraus sich also ergiebt, dafs durch die Anziehung jedes einzelnen Elements einer Kugel, gleiche Dichtigkeit aller ihrer Elemente vorausgesetzt, eine Anziehung nach ihrem Mittelpuncte entsteht, welche der Masse direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist,

Digitized by Google

der Abstand des angezogenen Körpers sey gering oder grofs gegen den Halbmesser der Kugel[1].

Aus dieser Gleichung folgt aufserdem, dafs die Anziehung eines Punctes durch eine Kugel, oder bei der Erde die Schwere, als Folge der Anziehung jedes einzelnen ihrer Elemente in ihrer Oberfläche am stärksten sey. Kommt der angezogene Körper von hier an dem Mittelpuncte näher, so wird $a=0$ und r wird kleiner, oder es findet stets die Anziehung einer kleinern Kugel statt, bis diese selbst mit dem Verschwinden von r verschwindet und mit ihr zugleich die Anziehung, die daher im Centrum selbst $= 0$ seyn mufs. Es erscheinen hiernach zugleich alle äufsere Kugelschichten als unwirksam rücksichtlich des angezogenen Punctes, und so verhält es sich auch in der Wirklichkeit, wie Newton[2] zuerst gezeigt hat und nach ihm mehrere Geometer durch den höhern Calcül darthaten, wie z. B. La Place[3] und Poisson[4], indem sie bewiesen, dafs die Anziehung einer gleichmäfsig dichten und dicken hohlen Kugel gegen jeden Punct in ihrem Innern $= 0$ ist. Einen sehr leichten elementaren Beweis giebt folgende Betrachtung[5]. Fig. Es sey ABCD der Durchschnitt einer dünnen, anziehenden Kugelschicht, M der in ihrem Innern liegende angezogene Punct, no und NO bezeichnen kleine, auf der Oberfläche der Kugelschicht befindliche Kreisflächen und MN ist zweimal so grofs als Mn, so ist NO viermal so grofs als no, wie es denn neunmal so grofs wird, wenn MN dreimal so grofs als Mn ist. Unter der Voraussetzung einer der Masse direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Anziehung mufs die viermal so grofse Masse in der doppelten Entfernung ebenso stark ziehn, als die einfache in der einfachen, ebenso die neunfache Masse in der dreifachen Entfernung u. s. w., und da dieses allgemein gilt, so heben sich die Anziehungen von NO und no auf den Punct M einander auf. Der Punct M wird

1 Ein gleiches Resultat auf einem andern Wege erhält Poisson in Traité de Méc. T. II. p. 323 bis 325.

2 Princ. Lib. I. prop. LXX.

3 Mém. de l'Acad. 1782. p. 120.

4 Traité de Méc. T. II. p. 25.

5 Vergl. *Brandes* Vorlesungen Th. I. p. 86.

daher nach keiner Seite hin bewegt, und dieses gilt auch für eine Kugelschicht von gröfserer Dicke oder von einer willkürlich grofsen Menge solcher Kugelschichten. Wenn wir also bei der Erde solche Schichten von gleichmäfsiger Dichte annehmen, so wird ihre Anziehung gegen jeden in ihrem Innern befindlichen Punct aufgehoben und es bleibt blofs die Anziehung der kleinern von ihnen eingeschlossenen Kugel übrig.

Diesemnach nimmt also die Schwere nach dem Innern der Erde hin im einfachen geraden Verhältnisse ihres Halbmessers ab, oder aber, wenn man dieselbe auf der Oberfläche der Erde $= g$, jenen Halbmesser $= r = 1$ nennt und $\frac{m}{n}$ einen ächten Bruch bezeichnet, so wird sie in $\frac{m}{n}$ Entfernung vom Centrum der Erde $= \frac{m}{n} g$ seyn, im Mittelpuncte selbst aber, wo $\frac{m}{n} = 0$ wird, verschwinden[1]. Heifst dagegen die Entfernung von der Oberfläche der Erde $= x$, so wird die Schwere g' daselbst $g' = g \cdot \frac{r^2}{(r+x)^2}$ oder, den Halbmesser der Erde $= 1$ angenommen,

$$= g \cdot \frac{1}{(1+x)^2} = g\,(1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + \ldots.)$$

seyn, wofür man für diejenigen Werthe von x, die gegen den Halbmesser der Erde sehr klein sind, mit Vernachlässigung der höhern Potenzen ohne merklichen Fehler $g\,(1 - 2x)$ setzen kann. Ist aber die Schwere $= g'$ für irgend eine Höhe $= h$ über der Oberfläche der Erde gefunden und will man dieselbe $= g''$ für irgend eine andere Höhe $= h'$ finden, so ist

$$g' : g'' = \frac{1}{(r+h)^2} : \frac{1}{(r+h')^2}, \text{ mithin } g'' = g' \left(\frac{r+h}{r+h'}\right)^2.$$

Vermittelst einer gemeinen Waage, wie fein dieselbe auch seyn möchte, läfst sich dieses nicht prüfen, weil sowohl der

---

1 Newton Princ. I. prop. LXXIII. La Place Méc. Cel. L. III. chap. 2., deutsche Ueb. Th. II. S. 63. Brandes Lehrb. d. Gesetze d. Gleichgew. u. s. w. Th. I. S. 144. Langsdorf Handbuch d. Mech. S. 306. u. v. a.

Digitized by Google

zu wägende Körper, als auch die Gewichtsstücke auf gleiche Weise durch die Abnahme der Schwere afficirt werden, wohl aber würde eine feine Federwaage den Unterschied anzugeben vermögen, welcher jedoch vermittelst des Pendels auf eine leichtere und sichere Weise erwiesen ist[1]. Die Abnahme der Schwere bei gröfserer Annäherung zu ihrem Mittelpuncte würde sich gleichfalls durch diese Mittel leicht erweisen lassen, wenn es nicht so schwierig wäre, Versuche in hinlänglicher Tiefe unter der Oberfläche der Erde anzustellen.

Bei allen diesen Demonstrationen ist die Erde als eine Kugel von gleichmäfsiger Dichtigkeit aller ihrer Theile angenommen, welches zwar weder möglich, noch auch mit anderweitigen Beobachtungen übereinstimmend ist. Wäre dieses aber der Fall, wie man wegen ihrer geringen Excentricität zur leichtern Demonstration meistens anfangs anzunehmen pflegt, so müfste die Schwerlinie aller Körper, oder dem Sprachgebrauche nach die *Falllinie* (*Linea propensionis*), aus dem Schwerpuncte jedes Körpers verlängert in den Mittelpunct der Erde treffen. Ein an einem Faden hängender schwerer Körper giebt die Richtung dieser Linie, der lothrechten oder verticalen Linie, an, welche mit der Tangente an die Oberfläche der Erde zwei rechte Winkel bildet oder auf einer berührenden Ebene perpendiculär ist. Bei der Gröfse der Erde ist eine solche berührende Ebene für irdische Messungen beträchtlich grofs und bildet den scheinbaren Horizont oder die horizontale Ebene, so dafs also eine hierauf lothrechte Linie verlängert in das Centrum der Erde, als Kugel gedacht, gelangt. Vermöge der Natur der Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, kann das Gleichgewicht jedes einzelnen gleich stark angezogenen Theiles oder der einzelnen Säulen desselben nicht statt finden, wenn sich die Oberflächen nicht in gleichem Abstande vom Mittelpuncte der Erde, als ruhende Kugel gedacht, befinden, wodurch also diejenige Kugelfläche entsteht, wovon kleine Theile wegen der Gröfse der Erde von einer ebenen Fläche nicht merklich abweichen und daher den Seehorizont bilden. Hängen zwei Lothe in einiger Entfernung von ein-

---

1 Vergl. *Pendel.* Bd. VII. S. 353. und über die Versuche, wodurch man das Newton'sche Gravitationsgesetz widerlegen wollte, Art. *Anziehung.* Bd. I. S. 334.

Digitized by Google

ander herab, so bilden sie einen Winkel, weil die von ihnen bezeichneten Linien verlängert sich im Centro der Erde schneiden. Nimmt man auf die ellipsoidische Gestalt der Erde Rücksicht, bezeichnet e die Excentricität, φ die geographische Breite, r den Radius der Erde, den Halbmesser des Aequators = 1 angenommen, ω den Winkel im Innern der Erde für einen gegebenen Raum = k, so ist in Secunden[1]

$$\omega = \frac{k}{r . \text{Sin. } 1''} (1 - \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi).$$

Nach den in diesem Werke gefundenen Dimensionen der Erde[2] beträgt die Länge eines Quadranten 1347,667 Meilen und der 324000ste Theil hiervon oder der Bogen, welcher einer Secunde zugehört, 95,484 par. Fuſs. Will man diese Gröſse genauer bestimmen, so beträgt sie nach der Gröſse der Meridiangrade unter dem Aequator 94,519 par. Fuſs und ist also unter irgend einer Breite = φ

$$94{,}519 \frac{1}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}},$$

wonach sie unter 45° NB = 95,011 und unter dem Pole 95,507 par. Fuſs beträgt, im Aequator aber 95,177 Fuſs. Alle diese Bestimmungen weichen nur wenig von einander ab, und es würde überhaupt den erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn man diese Gröſse für jeden Punct der Erdoberfläche genau bestimmen wollte, indem es vielmehr bei weitem in den meisten Fällen genügt, sie im Allgemeinen zu 95 Fuſs festzusetzen. Wenn also zwei Lothe in dieser Entfernung von einander herabhängen, so sind sie nicht im strengsten Sinne parallel, sondern divergiren um die Gröſse von einer Secunde. Wären jedoch beide Lothe 100 Fuſs lang, so würde der Abstand zwischen ihren obern und untern Enden doch nur einen Unterschied von 0,0004 Fuſs, also eine nicht wohl meſsbare Gröſse betragen, weswegen beide in der Ausübung für parallel gelten können und auch als solche betrachtet werden.

Die Erde ist keine Kugel, sondern nahe genau ein elliptisches Sphaeroid (*Ellipsoide de révolution*), und die verlängerten *Falllinien* können daher nur unter dem Aequator und unter

---

1 Méthode analytique pour la determ. d'un arc du Merid. par de Lambre. p. 94.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 930.

Digitized by Google

den Polen in das Centrum der Erde treffen, müssen aber an allen andern Orten in die Ebene des Aequators einschneiden, weil sie die Richtung der Normalen einer Ellipse haben. Huygens machte diese Bemerkung zuerst und bestimmte den Abweichungswinkel für Paris zu 5′ 45″, Kraft[1] aber berechnete ihn für den ganzen Quadranten und fand das Maximum desselben bei 44° 57′ 1″ = 5′ 57″. Indefs wird diese Gröfse durch die Abplattung bedingt, wie bereits oben[2] gezeigt worden ist. Es ist nämlich der Winkel, welchen eine aus dem Centrum der Erde bis zu einem Parallel auf ihrer Oberfläche gezogene Linie (der *radius vector*) mit der Ebene des Aequators bildet, die sogenannte *geocentrische Breite* des Ortes, die allezeit kleiner seyn mufs, als die geographische[3]. Nennt man die erstere = 1, die letztere = φ, heifst ferner die halbe Axe = b, der Halbmesser des Aequators = a und $\frac{a-b}{a} = \alpha$ die Abplattung, so ist

$$\text{Tang. } 1 = \frac{b^2}{a^2} \text{ Tang. } \varphi = (1-\alpha)^2 \text{ Tang. } \varphi.$$

Nennt man also $\varphi = 1 + \lambda$, so wird

$$\text{Tang. } (\varphi - \lambda) = (1-\alpha)^2 \text{ Tang. } \varphi$$

und hieraus

$$\text{Tang. } \lambda = \alpha(1 + \tfrac{1}{2}\alpha) \text{ Sin. } 2\varphi - \tfrac{1}{2}\alpha^2 \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Für eine Abplattung von $\frac{1}{310}$ ist λ am gröfsten bei 44° 54′ 15″ und beträgt 11′ 50″,8. Man kann bei der Kleinheit der Winkel den Winkel λ für diese Abplattung unmittelbar finden, nämlich

$$\lambda = 712'',48 \text{ Sin. } 2\varphi - 1'' \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Das letzte Glied ist so klein, dafs es ohne merkliche Aenderung weggelassen werden kann.

Aus dieser Gestalt der Erde folgt, dafs jeder Körper auf ihrer Oberfläche unter verschiedenen Breiten sich in einem ungleichen Abstande vom Centrum der anziehenden Masse befinde und daher ungleich schwer seyn müsse. Untersuchungen, um den hieraus entstehenden Unterschied der Schwere

---

1 Comment. Pet. T. VIII. p. 241.

2 S. *Fall.* Bd. IV. S. 13.

3 J. C. E. Schmidt Lehrbuch der math. und phys. Geographie. Gött. 1829. Th. I. S. 204.

Digitized by Google

zu finden, haben in frühern Zeiten Newton[1], Maclaurin, Simpson und vorzüglich Clairaut[2] angestellt, die man von P. Frisi[3] zusammengestellt findet. Gegenwärtig wird diese Aufgabe durch die höhere Analysis beantwortet, eine einfache geometrische Darstellung aber ist folgende[4]. Da die Normale für einen jeden Punct eines elliptischen Meridians der Erde die verlängerte Falllinie und somit die Richtung der Schwere bezeichnet, aus den Anziehungsgesetzen aber folgt, dafs sich die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator verhält, wie der Halbmesser des Aequators zur halben Axe[5], oder dafs sie den Normalen eines jeden Punctes der Erdoberfläche proportional ist, so darf man nur das Verhältnifs dieser Normalen suchen, um daraus das der Schwere zu erhalten.

Es sey also AMB ein elliptischer Bogen für die grofse Axe AC und die kleine BC, so ist CM ein Halbmesser des Punctes M, dessen Normale MN ist. Auf die Erde bezogen drückt AC die Ebene des Aequators, B den Pol und ANM die Polhöhe $= \varphi$ des Punctes M aus. Es sey dann MP auf AC senkrecht und $ACM = l$, so ist Fig. 282.

$$CM : MN = \text{Sin. } CNM : \text{Sin. } NCM = \text{Sin. } \varphi : \text{Sin. } l,$$

$$\text{also } MN^2 = \frac{CM^2 \text{ Sin.}^2 l}{\text{Sin.}^2 \varphi} \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Nach den Eigenschaften der Ellipse ist

$$CP : PN = AC^2 : CB^2 = a^2 : b^2$$
$$= \text{Tang. } PMC : \text{Tang. } PMN,$$

$$\text{folglich} \begin{cases} \text{cot. } ACM : \text{cot. } ANM \\ \text{cot. } l \quad : \text{cot. } \varphi \\ \text{Tang. } \varphi \quad : \text{Tang. } l \end{cases} = a^2 : b^2,$$

$$\text{also } a^2 \text{ Tang. } l = b^2 \text{ Tang. } \varphi$$
$$a^4 (1 + \text{Tang.}^2 l) = a^4 + b^4 \text{ Tang.}^2 \varphi$$
$$a^4 \text{ Sec.}^2 l = a^4 + b^4 \text{ Tang.}^2 \varphi$$

---

1 Princ. L. I. prop. XCI. coroll. 3. L. III. prop. XIX.

2 Mém. de l'Acad. 1745. Vergl. Phil. Trans. XL. p. 19.

3 De gravitate universali corp. Lib. III. Mediol. 1768. L. II. cap. 2.

4 S. Bohnenberger Astron. S. 197.

5 Vergl. La Place Mécan. cel. Liv. III. chap. 2. D. Ueb. Th. II. S. 64.

Digitized by Google

$$\text{Sec.}^2 l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}$$

$$\text{oder Cos.}^2 l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi},$$

und weil $b^2 \text{Cot.} l = a^2 \text{Cot.} \varphi$,

so ist $b^4 (1 + \text{Cot.}^2 l) = b^4 + a^4 \text{Cot.}^2 \varphi$,

$$b^4 \text{Cosec.}^2 l = b^4 + a^4 \text{Cot.}^2 \varphi$$

$$\text{Cosec.}^2 l = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}$$

$$\text{also Sin.}^2 l = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}.$$

Diese Werthe in die Gleichung 1 substituirt geben

$$MN^2 = \frac{b^4 CM^2}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi} \quad \ldots (2$$

Nach den Eigenschaften der Ellipse ist ferner

$$PM^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2} CP^2 \text{ oder}$$

$$MC^2 \text{Sin.}^2 l = b^2 - \frac{b^2}{a^2} MC^2 \text{Cos.}^2 l$$

$$MC^2 (\text{Sin.}^2 l + \frac{b^2}{a^2} \text{Cos.}^2 l) = b^2$$

$$MC^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 \text{Sin.}^2 l + b^2 \text{Cos.}^2 l}.$$

Hierin substituirt

$$MC^2 = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi},$$

welcher Werth in 2) gesetzt giebt

$$MN^2 = \frac{b^4}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi}$$

und (da $\text{Cos.}^2 \varphi = 1 - \text{Sin.}^2 \varphi$)

$$= \frac{b^4}{a^2 - (a^2 - b^2) \text{Sin.}^2 \varphi}.$$

Substituirt man hierin den Parameter $p = \frac{b^2}{a}$ und setzt

$$\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2, \text{ so ist}$$

$$MN^2 = \frac{p^2}{1 - e^2 \text{Sin.}^2 \varphi}.$$

Indem bei der Erde für die verschiedenen Normalen blofs die

Digitized by Google

Breite wechselt, so verhält sich hiernach die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter der Breite ψ wie

$$\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi} : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi},$$

also die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter dem Aequator, wie $1 : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}$, und es ist daher die Schwere unter der Breite φ

$$= \frac{g}{\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}} = g(1 + \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi + \frac{1.3}{2.4} e^4 \text{ Sin.}^4 \varphi \ldots),$$

wofür man, weil e^2 ein sehr kleiner Bruch ist, mit Weglassung der höhern Potenzen setzen kann $g(1 + \frac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)$. Hiernach ist also die Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole hin dem Quadrate des Sinus der Breite proportional[1].

Nach den aus den bis jetzt bekannt gewordenen genauen Messungen[2] erhaltenen Resultaten ist $a = 3271952$ und $b = 3260634$ Toisen, und hiernach also $e^2 = 0{,}0069062\ldots$, und wenn also die Schwere unter dem Pole $= 1$ gesetzt wird, so ist sie unter dem Aequator $= 0{,}9965468$. Der Unterschied beider beträgt 0,0034531, welche Gröfse A heifsen möge, wonach dann, wenn die Schwere g unter dem Aequator gegeben ist, die Schwere g′ unter einer gegebenen Breite $= \varphi$ genähert richtig $g' = g(1 + A. \text{ Sin.}^2 \varphi)$ gesetzt werden kann. Ein Körper also, welcher eine Federwaage unter dem Aequator um die Gröfse 1 zusammendrückt, würde sie unter der Breite $= \varphi$ um die Gröfse $= 1 + 0{,}0034531$ zusammendrücken[3].

Bei den bisherigen Untersuchungen ist die Erde als ruhend angenommen worden, was jedoch mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt, indem sie vielmehr täglich einen ganzen Umschwung um ihre Axe von Westen nach Osten vollendet. Ein jeder Körper auf ihrer Oberfläche durchläuft daher in dieser Zeit einen Kreis, welcher mit dem Perpendikel auf die Erdaxe von demjenigen Puncte aus, wo sich der Körper befindet, als Radius beschrieben wird, gleichsam als wenn er am Ende dieses Radius befestigt während eines Sternentages einen ganzen Kreis beschriebe oder einmal umgeschwungen würde. Es

---

1 Vergl. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 394.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 933.

3 Eine Federwaage für diesen Zweck, genannt *statera geographica* et *nautica*, hat Kratzenstein angegeben. S. Nov. Comm. Pet. T. II. p. 210.

Digitized by Google

ist aber das Mafs der Schwungkraft[1] $p = \frac{c^2}{2gr}$, wenn c die Geschwindigkeit, r den Radius des beschriebenen Kreises und g die Fallhöhe in einer Secunde bezeichnet. Um hiernach diese Gröfse für diejenigen Körper zu bestimmen, die sich unter dem Aequator befinden, beträgt der Halbmesser des Aequators 3271952 Toisen, mithin ist dort der Umfang der Erde $= 2\pi \times$ 3271952 Toisen oder 19631712 par. Fufs, welches zugleich die Bahn ist, die ein Körper im Niveau des Meeres dort während eines Sterntages zurücklegt. Auf einen Sterntag, welcher 3′ 55″,909 mittlerer Sonnenzeit kürzer ist, als ein Tag nach Sonnenzeit, gehn sonach 86400 — 235,909 = 86164,091 Secunden mittlerer Sonnenzeit und sonach beträgt der Umfang der Erde unter dem Aequator $= 2r\pi =$ 20558000 Toisen, welcher durch die Zahl der Secunden dividirt für eine Secunde einen Raum von 238,6 Toisen oder 1431,5 Fufs giebt. Setzen wir, da kleine Unterschiede hierbei nicht in Betrachtung kommen, die Fallhöhe in 1″ ohne Rücksicht auf die Schwungkraft = 15,13 par. Fufs, so giebt die Formel $p = \frac{c^2}{2gr}$ das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere

$$= \frac{2049400}{594050000} \text{ oder } \frac{1}{289,87}, \text{ oder kürzer } \frac{1}{289,9}.$$

Newton[2] fand dieselbe $= \frac{1}{289}$, de la Lande[3] $= \frac{1}{287}$, Poisson[4] $= \frac{1}{289}$, und überhaupt können die verschiedenen Resultate der Rechnung hierbei keine bedeutende Unterschiede darbieten. Es beträgt ferner $\frac{1}{289,9} \times 15,13$ Fufs nur 0,052 Fufs, und um so viel ist also die Fallhöhe unter dem Aequator durch die Schwungkraft geringer, als sie ohne diese seyn würde. Ferner ist die Schwungkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, und da $\sqrt{289,9} = 17,025$ ist, so würde die Schwungkraft unter dem Aequator der Schwere daselbst gleich seyn, wenn die Erde 17mal so geschwind um

1 S. *Centralbewegung*. Bd. II. S. 64.

2 Princ. L. III. prop. XIX. probl. 3. T. III. p. 77.

3 Astron. §. 3395.

4 Traité de Mécan. T. I. p. 392.

Digitized by Google

ihre Axe rotirte oder die Tagslänge $\frac{24}{17,025}$ Stunden betrüge. In diesem Falle würden dann die Körper unter dem Aequator keine Schwere haben, vielmehr durch irgend eine Kraft in die Höhe geworfen oder sich in der Höhe befindend nicht wieder auf die Erde herabfallen.

Die Kreise, in welchen die Körper auf der Oberfläche der Erde umgeschwungen werden, nehmen mit der Entfernung vom Aequator ab, und somit auch die Geschwindigkeit der Bewegung und die hierdurch erzeugte Schwungkraft, die also genau im Pole gänzlich verschwindet. Um das Verhältnifs dieser Abnahme zu den Graden der Breite zu finden, sey Fig. pp′ die Erdaxe, ca der Halbmesser und mq auf die Erdaxe 283. senkrecht. Die Schwungkraft wirkt in der Ebene des Kreises, welchen der Körper beschreibt, und ist dem Halbmesser desselben proportional, so dafs, wenn ab die Schwungkraft unter dem Aequator, mn unter der Breite φ bedeutet,

$$ba : mn = ac : mq.$$

Die Kraft mn läfst sich in mr und nr zerlegen, wovon mr der Schwere entgegenwirkt. Es ist dann bei geringer Excentricität

$$\begin{aligned} mn : mr &= mc : mq \\ &= ac : mq \\ ab : mn &= ac : mq \\ \hline ab : mr &= ac^2 : mq^2. \end{aligned}$$

Es ist aber $mq = \text{Sin. } mcq = \text{Cos. } (90^0 - mcq)$

$$mca = \varphi, \text{ also } mq = \text{Cos. } \varphi,$$

$$mr = \frac{ab \times mq^2}{ac^2} \text{ und, ac als Einheit gesetzt,}$$

$$mr = ab \times mq^2 = ab \text{ Cos.}^2 \varphi,$$

also ist die der Schwere entgegenwirkende Schwungkraft unter irgend einer Breite dem Quadrate des Cosinus proportional. Ebendieses folgt, wenn man berücksichtigt, dafs die Geschwindigkeiten der auf der Erde befindlichen, mit ihr zugleich umgeschwungenen Körper sich verhalten, wie die durchlaufenen Räume, also wie die beschriebenen Kreise oder wie die Radien oder die Perpendikel auf die Axe. Letztere sind aber die Cosinus der Breite, und man erhält also

$$c : c' = \text{Cos. } \varphi : \text{Cos. } \psi,$$

und da die Schwungkraft $p : p' = c^2 : c'^2$, so erhält man

$$p : p' = \text{Cos.}^2\,\varphi : \text{Cos.}^2\,\psi,$$

also die Schwungkraft unter dem Aequator als Einheit angenommen ist sie unter einer Breite $= \varphi$

$$p' = p\ \text{Cos.}^2\,\varphi = p\ (1 - \text{Sin.}^2\,\varphi),$$

die Schwere mufs aber vom Aequator an zunehmen, wie die Schwungkraft abnimmt. Heifst sie also unter dem Aequator g, unter einer Breite $= \varphi$ aber g', so ist $g = 1 - p$, und umgekehrt $g' = 1 - p\,(1 - \text{Sin.}^2\,\varphi)$,

$$\text{also } g : g' = 1 - p : 1 - p\,(1 - \text{Sin.}^2\,\varphi)$$
$$= 1 - p : 1 - p + p\,\text{Sin.}^2\,\varphi.$$

Hierin $1 - p$ als Einheit angenommen ist

$$g' = g\,(1 + p.\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Substituirt man hierin den gefundenen Werth für die Schwungbewegung $p = \frac{1}{289{,}9} = B$, so wird die Schwere unter der Breite φ

$$g' = g\ (1 + B\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Die Gröfse B beträgt aber 0,0034495.... der Schwere, also würde ein Körper die Federwaage, die er unter dem Aequator um die Einheit zusammendrückt, unter dem Pole um die Gröfse = 1,0034495.... zusammendrücken. Wir haben aber oben gesehn, dafs vermöge der Abplattung die Schwere vom Aequator an nach dem Pole hin um die Gröfse A dem Quadrate des Sinus der Breite proportional wächst, und da sie in gleichem Verhältnisse durch die Abnahme der Schwungkraft zunimmt, so geben beide Gröfsen vereint[1]

$$g' = g\,\big(1 + (A + B)\ \text{Sin.}^2\,\varphi\big),$$

welches durch Substitution der gefundenen Zahlenwerthe giebt

$$g' = g\,(1 + 0{,}0069026\ldots\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Setzt man $\text{Sin.}^2\,\varphi = \frac{1 - \text{Cos.}\,2\varphi}{2}$, so erhält man

$$g' = g\,(1{,}0034513\ldots - 0{,}0034513\,\text{Cos.}\,2\,\varphi),$$

also für den 45sten Breitengrad ist $g' = g\,(1{,}0034513)$.

Diese Bestimmung ist zwar auf die genauesten Gröfsen-Verhältnisse gegründet, welche aus geodätischen Messungen

---

1 Newton Princ. L. III. prop. XX. probl. IV. T. III. p. 105. Incrementum ponderis, pergendo ab aequatore ad polum, est ut quadratum sinus recti latitudinis. Nach seiner Bestimmung ist

$$g' = g\ (1 + 0{,}00420\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Digitized by Google

über die Gestalt der Erde aufgefunden worden sind, zugleich aber auch auf die Voraussetzung einer gleichmäfsigen Dichtigkeit derselben, die auf keine Weise mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, und sie stimmt daher mit denjenigen Resultaten nicht überein, die aus den Versuchen mit Pendeln hervorgegangen sind, die jedoch auf das Bestimmteste das Verhältnifs der Schwere unter den verschiedenen Parallelen angeben. Die Zunahme der Schwere ist nämlich der Vermehrung der Pendellängen gleich, wonach $g' = g(1 + y \text{ Sin.}^2 \varphi)$ wird. Nimmt man auf die im Art. *Pendel*[1] nachgewiesene ungleiche Abplattung unter verschiedenen Polhöhen keine Rücksicht, sondern legt man die dem ganzen Quadranten von 0° bis 90° zugehörige $= \frac{1}{289,1}$ zum Grunde, so erhält man für y einen Werth $= 0{,}00520868\ldots$ und $g' = g\,(1 + 0{,}00520868 \text{ Sin.}^2 \varphi)$, eine Bestimmung, welche aus dem mittlern Resultate der neuesten Pendelmessungen entnommen ist[2]. Wird auch hierin statt

$$\text{Sin.}^2 \varphi \text{ substituirt } \frac{1 - \text{Cos.}\, 2\varphi}{2}, \text{ so ist}$$

$$g' = g\,(1{,}00260434 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\varphi),$$

und, wenn man die Schwere unter dem 45sten Grade der Breite als Einheit durch g und die unter einer andern Breite durch g′ bezeichnet,

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\varphi),$$

eine bei vielen Untersuchungen vorkommende Bestimmung[3].

Die Schwere bedingt den Fall der Körper in der Art, dafs man häufig denjenigen Raum, durch welchen ein Körper in einer Secunde mittlerer Sonnenzeit durch die Schwere herab-

---

1 Vergl. *Pendel.* Bd. VII. S. 371.

2 Andere Angaben stimmen hiermit nahe überein. Kraft z. B. in Nov. Comm. Petrop. VII. u. VIII. findet A + B = 0,0052848. Poisson Traité de Mécan. I. 393. findet 0,005682. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 421. giebt an 0,005556. La Place in Mém. de l'Acad. 1817. T. II. p. 162. erhält als Resultat seiner Rechnung 0,0043?5, also aus der Annahme der gleichmäfsigen Dichtigkeit der Erdschichten weniger, als aus der Erfahrung, welche letztere ihm 0,0054 giebt.

3 Die bei den französischen Schriftstellern meistens vorkommende Bestimmung dieser Gröfse ist $g' = g\,(1 - 0{,}0027601 \text{ Cos.} 2\varphi)$. S. Conn. de Tems l'an 1816. p. 332. Biot Astron. phys. T. I. p. 199. hat 1 — 0,00257 Cos. 2 φ, in Traité de Phys. T. I. p. 390. dagegen 1 — 0,002837 Cos. 2 φ.

Digitized by Google

zufallen vermocht wird, durch g bezeichnet und als allgemeines Normalmafs für die Geschwindigkeit der Bewegung betrachtet. Inwiefern dieses Fallen der Körper durch die stetig wirkende Kraft der Schwere nothwendig erzeugt werden und die hieraus folgende Bewegung zugleich eine gleichmäfsig beschleunigte seyn müsse, ist bereits gezeigt[1] und dabei zugleich bewiesen worden, dafs der während einer Secunde durch einen frei fallenden Körper zurückgelegte Raum eine mittlere Geschwindigkeit gebe, die einer halben Secunde zugehört. Es läfst sich dieses auf eine einfache Weise durch geometrische Construction anschaulich machen. Drückt nämlich die Fläche des Dreiecks A C B die zunehmend wachsende Geschwindig-
Fig. 284. keit des in C mit 0 anfangenden und nach einer Secunde in A B endigenden fallenden Körpers aus, so ist e f diejenige Gröfse, welche seine mittlere Geschwindigkeit bezeichnet, da der Flächeninhalt des Rectangels a b c d dem des Dreiecks A C B gleich ist. Die Gröfse e f drückt also diejenige Geschwindigkeit aus, die der Körper nach einer halben Secunde erreicht, und ist zugleich die mittlere, die dem Fallraume einer ganzen Secunde zugehört, folglich mufs ein Körper zwei Secunden fallen, damit seine mittlere Geschwindigkeit diejenige werde, die er nach Verlauf von einer ganzen Secunde annimmt. Will man daher diese bezeichnen, so mufs man denjenigen Raum nehmen, welchen der Körper während zwei Secunden zurücklegt, und wird also der Fallraum, welcher während einer Secunde durchlaufen wird, mit g′ bezeichnet, so mufs die zur Vergleichung der Geschwindigkeit dienende Gröfse $= 2g'$ genommen werden, wie auch in der oben gebrauchten Formel und sonst bereits in zahllosen Fällen geschehn ist. Hierbei mufs man jedoch den herrschenden Sprachgebrauch sorgfältig beachten. Allgemein bedient man sich des Buchstabens g zur Bezeichnung des Fallraums, allein mit dem Unterschiede, dafs g entweder denjenigen bezeichnet, welcher während einer Secunde zurückgelegt wird, wie dieses in Deutschland ziemlich allgemein üblich ist, oder dafs dieser nur $\frac{1}{2}$ g heifst, wie meistens bei den französischen Schriftstellern, wo also g so viel bedeutet, als bei den deutschen 2 g.

Der Werth von g oder der Fallraum in einer Sexagesi-

1 S. *Fall.* Bd. IV. S. 1 ff.

malsecunde mittlerer Sonnenzeit ist auf keine andere Weise mit der erforderlichen Schärfe zu finden, als durch die genaue Messung des einfachen Secundenpendels, denn auf jeden Fall müfsten die beobachteten fallenden Körper sich im luftleeren Raume bewegen, was kaum zu bewerkstelligen und auf keine Weise mit der gehörigen Genauigkeit meſsbar seyn würde. Dagegen geben aber die Pendelmessungen diese Gröfse mit einer Schärfe, die nichts zu wünschen übrig läfst. Die einfache Formel für die Länge des Secundenpendels[1] giebt das Verhältnifs $t = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{2l}{g}}$, woraus für 1 Secunde $g = \frac{\pi^2}{2} l$ folgt, wenn l die Länge des einfachen Secundenpendels bezeichnet. Nach den so eben angestellten Untersuchungen ist es am besten, den Werth von g für den 45sten Breitengrad aufzusuchen und diesen für die übrigen Breitengrade auf die angegebene Weise zu reduciren. Die Länge des einfachen Secundenpendels für diese Breite beträgt 993,534239 Millimeter oder 440,429754 par. Linien, und diesemnach ist nach der deutschen Bezeichnungsart $g = 4{,}9029$ Meter oder 15,09328 par. Fufs; nach der in Frankreich üblichen Bezeichnungsart aber ist $g = 9{,}8058$ Meter oder $= 30{,}18655$ par. Fufs; für irgend eine andere Breite ist dann

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434\ \mathrm{Cos.}\ 2\,\varphi).$$

Diese Gröfse, wovon man in der Mechanik sehr häufig Gebrauch macht, ist hier aus den genauesten Pendelmessungen mit genügender Schärfe abgeleitet. Gewöhnlich nimmt man da, wo es auf kleine Unterschiede nicht ankommt, mit Weglassung der Decimaltheile blofs 15 par. Fufs an, die neueren französischen Schriftsteller dagegen haben für die doppelte Gröfse fast ausschliefslich 9,8088 Meter. Egen[2] findet aus den Pendellängen unter 51° 25′ N. B. in rheinischem Fufsmafs $2g = 31{,}26114$ Fufs. Es ist aber in ebendiesem Mafse $g = 15{,}6216$ Fufs und mit der Correction für die Breite $= 15{,}62276$, also $2g = 31{,}24552$, welches von jener um nicht mehr als $-0{,}01562$ Fufs abweicht.

---

1 S. *Pendel*, Bd. VII. S. 809. 873.

2 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Berlin 1831. S. 16.

Digitized by Google

Neuere Bestimmungen über die Länge des einfachen Secundenpendels, wodurch die gefundene Gröfse eine Abänderung erhalten könnte, sind jedoch bei der Bearbeitung jenes Artikels nicht hinzugekommen, eine Erwähnung verdienen aber die Versuche von Baily[1], den Coefficienten des *Widerstandes der Luft* genauer zu bestimmen. Zu diesem Ende bediente er sich des Mittels, Pendel von der verschiedensten Art im luftverdünnten Raume schwingen zu lassen und die hierdurch erhaltenen Resultate mit denen zu vergleichen, welche eben dieselben in atmosphärischer Luft von gleichfalls bekannter Dichtigkeit gaben. Sein Apparat war wesentlich verschieden von demjenigen, womit Sabine auf dem Observatorium zu Greenwich Versuche angestellt hat, im Ganzen aber stieg die Zahl der verschiedenen gebrauchten Pendel auf 41, die im Verfolg der Versuche noch mehr als verdoppelt wurde, um die verschiedenen Modificationen aufzufinden, welche die Gestalt der Pendel rücksichtlich des erlittenen Widerstandes herbeiführt. Von diesen waren 38 solche, deren man sich bisher zur Auffindung der Länge des einfachen Secundenpendels bedient hat, aufserdem aber prüfte er noch verschiedene Uhrpendel, wie sie für diesen Zweck meistens an einer Uhrfeder aufgehangen werden. Vermittelst dieser Pendel bestimmte Baily die erforderliche Correction. Da es aber zu weitläuftig seyn würde, hier die ganze Art der Berechnung im Einzelnen mitzutheilen, so bemerke ich blofs, dafs er diejenige Gröfse aufsuchte, die von Bessel $= 1 + k$ genannt ist. Aufserdem suchte er das Gewicht der Luft, welche dem Pendel adhärirt und durch dasselbe bei seinen Schwingungen in Bewegung gesetzt wird oder welche, mit dem *centrum oscillationis* vereint, diejenige Verzögerung verursachen würde, die bei den Schwingungen in der Luft zum Vorschein kommt. Wie diese gefunden werde, zeigte Airy durch fol-

1 Phil. Trans. 1832. p. 399. Vergl. Art. *Pendel.* S. 345. Die bereits oben erwähnten wichtigen Pendelversuche von Bessel, die zunächst zum Beweise des Satzes dienen sollten, dafs alle Materie gleich schwer sey, ergeben mit den frühern vereint die Länge des einfachen Secundenpendels für die Königsberger Sternwarte = 440,8154 Linien, also nur 0,0007 L. gröfser, als die frühern Versuche allein, was für die ausnehmende Genauigkeit aller hinlänglich bürgt. G. CI. 414.

Digitized by Google

gende Betrachtung. Wenn N die Zahl der Schwingungen eines Pendels in der Luft während eines Tages nach mittlerer Sonnenzeit bezeichnet und ν die Vermehrung dieser Schwingungen, wenn es sich im leeren Raume befindet, ω das Gewicht des Pendels in *grains* Troy-Gewicht, S sein specifisches Gewicht und σ das spec. Gew. der Luft, so nimmt seine Schwere ab im Verhältnifs von $(N+\nu)^2 : N^2$, wofür man genähert $\left(1 + \frac{2\nu}{N}\right)$ setzen kann, und es folgt, dafs das in der Luft schwingende Pendel, statt die Trägheit seines Gewichts ω beizubehalten, blofs die Schwere $= \omega \times \frac{N^2}{(N+\nu)^2}$ oder genähert $= \omega \left(1 - \frac{2\nu}{N}\right)$ behalte, also das Gewicht $\omega \times \frac{2\nu}{N}$ verloren habe. Das Gewicht aber, welches es durch das blofse Vordrängen einer Quantität Luft verloren hat, beträgt $\omega \times \frac{\sigma}{S}$ und diejenige Gröfse, welche hiernach nicht berücksichtigt wird, beträgt $\omega \left(\frac{2\nu}{N} - \frac{\sigma}{S}\right)$. Es läfst sich dieses als ein Zugabegewicht betrachten, welches im *centrum oscillationis* vereint ist. Die wichtigsten unter den erhaltenen Resultaten lassen sich übersehen, wenn man die früher durch Rechnung gefundene Correction, wobei eine Barometerhöhe von 30 engl. Zoll und eine Temperatur von 0° C. vorausgesetzt und angenommen wird, dafs 86400 Schwingungen auf einen Tag gehören, mit der neuen vergleicht, wozu die folgende abgekürzte Tabelle dient.

Digitized by Google

Art des Pendels.		Alte Correct.	Werth von 1+k	Neue Correct.	Gewicht d. anhäng. Luft in grains.
Kugeln 1,5 Z. Durchmesser	Platin . . .	2″,709	1,881	5″,104	0,496
	Blei	5,003	1,871	9,362	0,468
	Messing . .	7,343	1,834	13,467	0,457
Linse von Blei, 1 Z. dick .		5,000	1,580	7,900	0,438
Lange kupferne Stange . .		6,519	2,932	19,117	4,904
Kater's unveränderl. Messingp.		6,697	1,590	10,649	8,339
Kater's Revers. Pendel, mit hölzerner Stange.		7,630	2,144	16,356	
		7,630	2,204	16,815	

Im Ganzen verhält sich also die alte Correction zu der eigentlichen neuern wie 1:2,03. Die aus den Pendelmessungen erhaltenen Resultate müfsten hiernach bedeutend unrichtig seyn, allein bei den meisten neuesten Versuchen wurden dieselben Pendel an den verschiedenen Stationen gebraucht oder solche, die auf gleiche Weise construirt waren, und die Fehler heben sich daher auf, wenn man blofs das Verhältnifs ihrer Schwingungszahlen an verschiedenen Orten zu wissen verlangt. Wegen der weitern Untersuchungen, die Pendel betreffend, wie sie Baily mitgetheilt hat, mufs ich auf die schätzbare Abhandlung selbst verweisen.

Die wichtigsten Versuchen zur Auffindung der Gesetze des *freien Fallens* der Körper, zugleich mit Rücksicht auf die Umdrehung der Erde um ihre Axe, sind bereits oben[1] erwähnt worden. Sie wurden indefs seitdem noch durch eine schätzbare Reihe vermehrt, welche Reich und Brendel im Jahre 1831 zu Freiberg angestellt haben, bei denen sich gleichfalls eine aus der Theorie nicht folgende geringe Abweichung der aus beträchtlicher Höhe herabfallenden Körper nach Süden bemerken liefs[2].

1 S. Art. *Fall.* Bd. IV. S. 7 ff.

2 Fallversuche über die Umdrehung der Erde, angestellt auf hohe oberamtliche Anordnung in dem Dreibrüder-Schachte bei Freiberg u. herausgeg. von F. Reich. Freib. 1832. 8. Vergl. G. CV. 494.

Digitized by Google

Das Fallen der Körper, als Folge der Schwere, findet im Allgemeinen blofs auf der Oberfläche der Erde und in verhältnifsmäfsig geringer Erhebung über derselben statt und hierüber sind die Gesetze durch die zahlreichsten Beobachtungen und Versuche hinlänglich bekannt. Selten wird die Gelegenheit dargeboten, den Fall der Körper unter dem Spiegel des Meeres, also im Innern der Erde, zu beobachten, und wo dieses etwa möglich wäre, da ist die Tiefe so aufserordentlich gering, dafs die aufgestellten Gesetze keine mefsbare Abänderung durch die unmerklich gröfsere Annäherung zum Centrum der Erde erleiden können. Man hat jedoch wiederholt ein für die Anwendung völlig unnützes Problem aufgeworfen, nämlich wie ein Körper fallen würde, wenn er von irgend einer Höhe anfangend bis zum Centrum der Erde gelangen und dann noch jenseits seine Bewegung fortsetzen könnte. Die Frage ist bereits durch Brandes[1] genügend in Verbindung mit den Fallgesetzen im Allgemeinen beantwortet worden, ich füge jedoch noch Folgendes hinzu, was mir noch einfacher zu den nämlichen Resultaten zu führen scheint. Zuvörderst läfst sich der Fall, dafs ein durch die Schwere bewegter Körper aus einer gröfsern Höhe herab auf der Oberfläche der Erde ankommt und dann seine Bewegung weiter nach dem Centrum derselben fortsetzt, nicht in einem einzigen analytischen Ausdrucke vereinigen, weil bis zur Oberfläche der Erde die Kraft der Anziehung stets wächst, von da an aber abnimmt. Die Aufgabe mufs daher so gestellt werden, dafs der Körper von der Oberfläche der Erde an zu fallen beginnt, wobei man seine Geschwindigkeit in diesem Puncte $= C$ oder $= 0$ setzen kann. Für die letztere Bedingung sey EC der Halbmesser der Erde $= r$, die Entfernung vom Mittelpuncte $Ca = x$, die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche bis a herabgefallenen Körpers $= v$, die Zeit dieses Fallens $= t$, der Fallraum für 1 Secunde in $E = g$, in a aber $= f$, so ist Fig. 285.

$$CE : Ca = 1 : f \text{ und } rf = x \text{ oder } f = \frac{x}{r},$$

weil die Anziehung vom Mittelpuncte der Erde an bis zu ihrer Oberfläche der Entfernung vom Centro oder dem wach-

1 Art. *Fall.* Bd. IV. S. 11.

Digitized by Google

senden Halbmesser direct proportional ist. Nach den Fallgesetzen ist aber bekanntlich $dv = 2g\frac{x}{r}dt$, und da auch hier $v = -\frac{dx}{dt}$ ist, so ergiebt die Multiplication beider Gröfsen

$$v\,dv = -\frac{2gx\,dx}{r},$$

welches integrirt giebt

$$v^2 = -\frac{2gx^2}{r} + \text{Const.}$$

Setzt man für $v = 0$ die Gröfse $x = r$, so ist $\text{Const.} = \frac{2gr^2}{r}$ und das vollständige Integral wird

$$v^2 = 2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right) \text{ oder } v = \pm\sqrt{2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)}$$

Heifst dann die Linie $a\alpha = p$, die Linie $CB = q$, so ist $v = 2g\frac{p}{q}$, d. h. die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche der Erde nach ihrem Centrum fallenden Körpers, die er in irgend einem Puncte in ihrem Innern erlangt hat, verhält sich, wie das Perpendikel auf diesen Punct. Kommt der Körper im Centrum der Erde an, so ist seine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gr}$, also für $2g = 30$ Fufs und $r = 19609050$ Fufs $v = 24254$ Fufs. Um die Zeit zu finden, hat man

$$v\,dt = -dx, \text{ also } dt = -\frac{dx}{v},$$

und hierin den Werth von v substituirt

$$dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}},$$

welches integrirt giebt

$$t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \cdot \text{arc. Cos. } \frac{x}{r}.$$

Die Zeit des Fallens eines Körpers von E bis a verhält sich also wie der zugehörige Bogen $E\alpha$. Rückt a bis C hinab, so wird $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{EB}{BC} = 1{,}5708\sqrt{\frac{r}{2g}}$, welches für die oben angenommenen Werthe $t = 1270$ Sec. oder 21 Min. 10 Sec. als die Zeit des Fallens von der Oberfläche bis zum Centrum giebt. Diese nämliche Zeit verwendet der fallende

Digitized by Google

Körper auf jeden Raum, in welchem Puncte zwischen E und C er auch zu fallen anfangen mag. Ist nämlich diese Entfernung = n, so wird aus der obigen Gleichung für v

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g}{r}(n^2 - x^2)\right)},$$

$$\text{also } dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{dx}{\sqrt{(n^2 - x^2)}},$$

$$\text{mithin } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} . \text{arc. Cos.} \frac{x}{n}$$

$$\text{und für } x = 0 \text{ ist } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} . \text{arc. Cos. } 0 = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}}.$$

Indem aber der Körper vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit ebenso weit fortgetrieben wird, als er herabgefallen ist, so würde derselbe von der Oberfläche an bis zum Centrum gelangt nach dem Trägheitsgesetze wieder bis zur entgegengesetzten Oberfläche gelangen, wo seine Geschwindigkeit = 0 werden, er aber dann sogleich den Fall nach entgegengesetzter Richtung wieder beginnen und auf dem Wege durch die ganze Erde 42′ 20″, bis zur Rückkehr an seinen ersten Ort aber 1 Stunde 24 Min. 40 Sec. gebrauchen würde.

Man pflegt die Gesetze der beschleunigten Fallgeschwindigkeit in der Regel vermittelst der *Atwood'schen Fallmaschine* zu erläutern, die bereits oben [1] beschrieben worden ist. Sonst bedient man sich auch wohl einer geneigten Ebene, auf welcher ein geeigneter kleiner Wagen mit verschwindender Reibung oder eine elfenbeinerne Kugel herabrollt und in gleichen Zeiten vermehrte Räume zurücklegt. Neuerdings hat Aldini [2] eine andere Maschine angegeben, womit zwar die Fallgeschwindigkeit nicht mit der erforderlichen Schärfe, wohl aber die Widerstände gefunden werden, welche die Körper beim Fallen erleiden. Diese besteht aus einem massiven Fufsbrete mit Stellschrauben zur horizontalen Richtung und mit einer Vertiefung B, worin sich Sand oder ein sonstiger weicher Körper befindet, um das harte Aufschlagen des fallenden Ge- Fig. 286.

1 S. *Fallmaschine*. Bd. IV. S. 30.

2 Bibl. univ. Sc. et Arts. T. LI. p. 77. aus Memorie dell' Instituto Italiano. Classe di Fisica cet. T. I. p. 487. Auch in Novi Saggi di Padova T. 1. p. 127. Von Dal Negro.

Digitized by Google

wichtes G zu mildern. Auf dem Fufsbrete steht eine verticale, in gewisse Abtheilungen eines Längenmafses getheilte Säule mit einem verschiebbaren Zeiger, um danach die Fallhöhe des Gewichtes G abzumessen. Oben an der Säule befindet sich eine verticale, in 500 Theile getheilte Scheibe, vor welcher ein Zeiger A umläuft, welcher an einer Rolle festsitzt, um die eine Schnur geschlungen ist, an welcher das kleine Gewicht g hängt. Die Rolle ist auf ihrem Rande rauh gemacht oder gefurcht, um durch das aufliegende gleichfalls gefurchte Ende des längeren Hebelarmes L′ durch den Druck sogleich zum Stillstande gebracht zu werden. Das andere kürzere Ende des Hebels L ist so abgeschnitten, dafs das Hebelstück D mit der Ebene seines Endes genau auf dessen Ebene pafst und den Faden des Gewichts G fest zwischen beiden klemmt. Da der Hebelarm L′ an sich ein Uebergewicht über den andern L hat, so wird er herabfallen, und es werden dann zu gleicher Zeit beide Gewichte g und G herabzufallen beginnen, sobald man den Hebelarm E mit der Hand hebt und den zwischen L und D festgeklemmten Faden löset. Während dann G von einer bestimmten Höhe herabfällt, fällt auch g, drehet dadurch die Rolle P um ihre Axe und der Zeiger A mifst die kleinen Theile dieser Umdrehung. Da aber der Fall von g ein beschleunigter ist, so kann man die Bewegung des Zeigers in eine gleichmäfsige verwandeln, wenn man der Rolle eine Spiralform giebt, deren Windungen in dem Verhältnisse der Zahlen $1 : 3 : 5 : 7 \ldots$ zu einander stehn. Will man diese Gröfsen auf bestimmte Fallhöhen und Zeiten reduciren, so dient hierzu die bekannte Formel $h = g\,t^2$, worin h die Höhe, t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g den Fallraum in 1 Secunde bezeichnet. Nobili benutzte die Maschine zunächst, um den Widerstand der Luft gegen zwei fallende Körper von gleichem Volumen und ungleichem Gewichte zu bestimmen, desgleichen zur Auffindung des Widerstandes, welchen ungleiche Flüssigkeiten den fallenden Körpern von gleicher Masse oder gleichem Volumen entgegensetzen, endlich auch um die Fallgesetze der Körper in Flüssigkeiten zu untersuchen, die selbst in Bewegung sind. Ob übrigens die Maschine für so feine Versuche hinlängliche Genauigkeit zuläfst, ob z. B. der Hebelarm L′ schnell genug losläfst und die Rolle keine kleine Fehler durch Reibung ihrer Zapfen

Digitized by Google

herbeiführt, wage ich nicht zu entscheiden, da der Erfinder die Resultate seiner Versuche nicht angiebt.

Es ist verschiedentlich, unter andern von v. Langsdorf[1], eine Modification der Schwere in Anregung gebracht worden, welche auf gleiche Weise aus dem Umschwunge der Erde um die Sonne entstehn soll, als eine solche durch die Rotation der Erde entsteht, und wonach somit ein Unterschied der *Tagschwere* und der *Nachtschwere* statt finden müfste. Ein geringer Unterschied dieser Art findet allerdings statt, allein dieser ist so unbedeutend, dafs man ihn mit Recht stets vernachlässigt hat und auch das feinste Pendel ihn nicht merkbar machen kann. Unrichtig ist zuvörderst die Ansicht, als wenn die der Sonne zugewandten Theile der Erde durch den Umschwung der letzteren in ihrer Bahn um die Sonne gegen diese hingetrieben, die von der Sonne abgewandten aber von derselben weggetrieben würden und hieraus ein Unterschied der Schwere bei Tage und bei Nacht entstände. Man mufs vielmehr berücksichtigen, dafs das Centrum der Erde ebensowohl gegen die Sonne gravitirt, als beide einander diametral gegenüber stehende, in einer durch die Mittelpuncte beider Körper gehenden Linie liegende Puncte ihrer Oberfläche. Alle drei sind daher in relativer Ruhe[2], indem ihre gemeinschaftliche Gravitation gegen die Sonne die Beschaffenheit der Erdbahn bedingt. Entstände jedoch hieraus ein Einflufs, so müfsten blofs die der Sonne zugewandten Körper durch die Anziehung dieses Weltkörpers an Schwere verlieren; die richtige Erklärung der Ebbe und Fluth zeigt jedoch, dafs eine solche Verminderung beide entgegengesetzte Seiten der Erde trifft. Der Unterschied der Tagschwere und der Nachtschwere soll auch blofs daraus hervorgehen, dafs der Radius des Kreises, worin sich ein Punct um Mittag bewegt, kleiner ist als um Mitternacht. Nehmen wir also den einfachsten Fall, welcher zugleich den gröfsten Werth giebt, dafs sich die Sonne im Nachtgleichenpuncte befindet, der Körper aber im Aequator der Erde, den Einflufs der Axendrehung der letzteren bei Seite gesetzt, und berechnen wir hiernach den Unterschied der Schwungkräfte beider $= \Delta k$, so ist für den Halbmesser der Erdbahn

1 Heidelb. Jahrb. d. Lit. Intell. Bl. 1823. N. IV.

2 Benzenberg Versuche über die Umdrehung d. Erde. S. 72.

$= r = 20{,}5$ Mill. Meilen und den Durchmesser der Erde $d = 1719$ Meilen die Schwungkraft eines Körpers um Mittag $k = \frac{v^2}{r}$, um Mitternacht $k' = \frac{v^2}{r+d}$, mithin $\Delta k = \frac{k'-k}{k'}$. Berücksichtigen wir ferner, dafs sich die Geschwindigkeiten wie die durchlaufenen Räume, diese aber wie die Radien verhalten, und nennen wir demnach $k = 1$, so ist $k' = 1{,}00008385$, mithin $\Delta k = 0{,}000083842\ldots$ Um diese Gröfse mit der Schwere zu vergleichen, oder $\frac{v^2}{r} : 2g$ genommen, sey die Bewegung der Erde in 24 Stunden $= 358700$ Meilen, also in einer Secunde nahe genau 94827 Fufs, wonach die Schwungkraft den 0,0006385 . . ten Theil der Schwere beträgt. Die Differenz der Tagschwere und Nachtschwere, wie sie durch die Schwungkraft der Erde im Weltraume hervorgebracht wird, beträgt also $0{,}0006385\ldots \times 0{,}000083842\ldots = 0{,}00000005355$ der Schwere, eine in die achte Decimalstelle fallende und daher unmefsbare Gröfse, indem ein Körper hiernach nur 0,0000008 Fufs weniger oder mehr fallen würde.

Dafs die Anziehung der Sonne und des Mondes (den verschwindenden Einflufs der Planeten nicht zu erwähnen) auf die Schwere der auf der Erdoberfläche befindlichen Körper einen Einflufs haben müsse, liegt im Wesen der Schwere und zeigt sich auch in den Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Wenn nach dem Newton'schen Gravitationsgesetze der Mittelpunct der Erde mit einer den Massen direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Kraft angezogen wird, so erhält die Schwere eines auf ihrer Oberfläche befindlichen Körpers dadurch eine Verminderung, welche im directen Verhältnisse der Masse des anziehenden Körpers und im umgekehrten des Cubus seiner Entfernung steht[1]. Den einfachsten Fall also angenommen, dafs beide genannte Himmelskörper im Zenith stehen, die Masse der Erde und ihren Radius $= 1$ gesetzt, die Masse der Sonne $= 329630$, ihre mittlere Entfernung $= 24433$ Erdhalbmesser, die Masse des Mon-

1 Vergl. *Ebbe u. Fluth.* Bd. III. S. 28. Bohnenberger Astronomie S. 680. Hiernach lassen sich v. Arnim's und Gilbert's Vorstellungen in Annal. d. Phys. VIII. 87 berichtigen. Vergl. Benzenberg ebend. XV. 110.

des = 0,0146 und seine mittlere Entfernung = 60 Erdhalbmesser, die Anziehung der Erde gegen einen Punct in ihrer Oberfläche endlich = 1, so würde die Anziehung der Sonne = 0,0000000226 = $\frac{1}{44255000}$, des Mondes = 0,0000000676 = $\frac{1}{14795000}$ betragen. Beide Gröfsen stehen im Verhältnifs wie 1 : 3, was mit den Beobachtungen der Ebbe und Fluth übereinstimmt, sind aber, obgleich hier im Maximo angenommen, dennoch so gering, dafs sie bei irdischen Erscheinungen der Schwere sich jeder Beachtung entziehn. Die Summe beider beträgt nämlich nur 0,0000000902 und ein Körper würde durch sie gehindert nur 0,000001353 Fufs weniger fallen.

Jene erstere Einwirkung sollte nach der Ansicht einiger Naturforscher einen Einfluſs auf den Gang der Pendeluhren bei Tage und während der Nacht ausüben, welcher sich jedoch der angegebenen Theorie gemäfs in der Erfahrung nicht findet, die letztere aber müsse sich, wie man glaubte, an sehr langen Pendeln durch eine periodische Abweichung derselben zeigen. Namentlich wollte Calignon de Peirins, ein Freund Gassendi's, an einem 30 Fufs langen Pendel eine mit der Ebbe und Fluth zusammenfallende Bewegung bemerkt haben, nach welcher dasselbe von 6 zu 6 Stunden etwas nach Norden rücke und wieder zurückkehre. Gassendi nannte dieses *Reciprocation* des Pendels (*Reciprocatio penduli;* Reciprocation du pendule, von *reciprocatio maris*, der Ebbe und Fluth) und einen solchen Apparat ein *Reciprocationspendel.* Die Sache wurde mehrfach behauptet und bestritten [1] und Bouguer gab sich die Mühe zu zeigen, dafs die Bewegungen solcher Pendel seinen Versuchen gemäfs durchaus keine Regelmäfsigkeit zeigten [2]. Später haben Riccioli und Grimaldi, Mersenne, Andreas Mayer [3] und andere darüber gehandelt, neuerdings hat Benzenberg [4] das Problem wieder in Anregung gebracht

1 Hist. de l'Acad. 1742.

2 Mem. de Paris. 1754. p. 250.

3 De deviatione et reciprocatione penduli. Gryphisw. 1776.

4. Vers. über die Umdrehung d. Erde S. 67, wo man die Geschichte der früheren Verhandlungen erzählt findet.

Digitized by Google

und den Gebrauch langer und sehr empfindlicher Wasserwaagen, so wie Beobachtungen zu der Zeit, wenn sich die genannten Himmelskörper im Horizonte befinden, in Vorschlag gebracht, allein alle darüber angestellte Versuche führen zu keinem Resultate, wie aus dem Ergebnifs der Theorie von selbst folgt.

Die Schwere ist bei den bisherigen Untersuchungen als Folge einer durch Erfahrung erkannten Kraft, der *Anziehung*, betrachtet worden, ohne das eigentliche Wesen derselben zu berücksichtigen. Man hat Letzteres jedoch oft zu erklären versucht, ohne jemals damit zu einem genügenden Resultate gelangt zu seyn. Aristoteles [1] sagt im Allgemeinen, es gäbe schwere und leichte Körper, jene mit dem Bestreben, sich nach dem Mittelpuncte der Erde zu bewegen, diese mit dem Triebe, denselben zu fliehen. Hieraus machten die Scholastiker nachher eine *qualitas occulta* und vertieften sich darüber in Spitzfindigkeiten, weil die Erfahrung zu ihrer Theorie nicht pafste; einige leugneten die Schwere überhaupt und nahmen an, die Körper drückten blofs deswegen gegen ihre Unterlagen, weil sie weniger leicht als andere seyen. Keppler [2] versuchte zuerst wieder, die Schwere mechanisch zu erklären, verlor sich dabei aber in unnatürliche Fictionen. Hiernach liegt die Ursache der Schwere in gewissen feinen, um die Erde bewegten Ausflüssen (*spirantibus effluviis*), welche die Körper herabziehen. Einige Gelehrte wurden durch die Undeutlichkeit seiner Ausdrücke verleitet anzunehmen, er rede von geistigen Wesen, z. B. Saverius [3], welcher darin eine Andeutung fand, dafs diese Untersuchungen die Kräfte des menschlichen Verstandes überstiegen. Gassendi nahm statt der umkreisenden Ausflüsse Strahlen einer feinen, aus dem Mittelpuncte der Erde ausgehenden (vielleicht magnetischen?) Materie an, welche die Körper nach sich zurückzögen, Casatus aber behauptete, die Körper seyen nur darum schwer, weil sie nicht an ihrem rechten Orte sich befänden [4]. Man begreift jetzt kaum, wie den-

1 De Coelo. Lib. IV. cap. 4. Problemata Sect. XXV. quaest. 13.

2 Epit. Astron. Copern. Lentiis ad Danub. 1618. 8. L. I. p. 95.

3 Dict. de Math. et de Phys. Art. Pesanteur.

4 Vergl. Baisson Traité élém. ou Principes de la Physique. T. I. p. 165.

Digitized by Google

kende Männer auf solche nichts sagende Hypothesen verfallen konnten.

Am meisten Aufsehn hat geraume Zeit das System des Cartesius[1] erregt und viele Physiker haben dasselbe durch neue gewagte Hypothesen zu vertheidigen gesucht. Hiernach streben die Kügelchen des ersten und zweiten Elements sich in geraden Richtungen zu bewegen. Weil sie aber durch die grobe Masse der Erde daran gehindert werden und den Weg verfolgen müssen, welchen ihnen die Zwischenräume der gröberen Theile offen lassen, so streben sie wenigstens, sich diese Wege so geradlinig und kurz zu machen, wie möglich. Dieses findet statt, wenn die ganze hindernde Masse kugelförmig ist; ragt aber ein Theil über die Kugelfläche hinaus, so stofsen die Kügelchen von aufsen mit mehr Gewalt gegen ihn, als gegen die übrige Oberfläche, und treiben ihn nieder, ist ein Theil unter die Oberfläche vertieft, so stofsen die inwendig durchgehenden Kügelchen stärker gegen ihn und treiben ihn nach oben. Hieraus entsteht die runde Gestalt der Erde, der Wassertropfen u. dgl., so wie auch die Schwere, welche die Körper nach dem Mittelpuncte treibt. Schwebt in der Luft ein Körper, welcher mehr grobe Masse hat, als ein gleiches Volumen Luft, so findet die feine Materie in ihm weniger Wege zum Durchgange, als in der Luft, treibt daher unverweilt den Körper nieder und bringt Luft an seine Stelle. Das Gewicht richtet sich daher nicht nach der Masse der Körper, sondern nach dem Unterschiede zwischen der Menge der Kügelchen des ersten und zweiten Elements und der gröberen Materie, welche sich in dem Raume des schweren Körpers und in einem gleichen Volumen des ihn umgebenden Mittels befinden können. Vielleicht hat z. B. das Gold nur viermal mehr grobe Masse, als das Wasser, wiegt aber dennoch neunzehnmal mehr, weil die Theile des Wassers in steter Bewegung sind, also mehr feine Materie durchlassen und daher in Vergleichung mit festen Körpern mehr Leichtigkeit besitzen.

Auch Hooke und Vossius dürfen als Anhänger des Cartesius betrachtet werden, sofern sie die Schwere von einer feinen Flüssigkeit ableiteten, wobei nach Letzterem jedoch der

1 Ren. Cartesii Principia philosophiae. Amst. 1685. 4. Lib. IV. prop. 19—25. Vergl. *Materie.*

Digitized by Google

Umschwung der Erde nothwendige Bedingung der Wirksamkeit des Aethers seyn sollte[1]. Halley dagegen und Clarke wollten der Theorie von einem Aether nicht beipflichten, sondern betrachteten die Schwere als eine unmittelbare Wirkung der Gottheit, welche die Körper einmal in Bewegung gesezt habe[2].

Eigentlich liegt die hier angegebene lothrechte Bewegung der feineren Materie nicht nothwendig im Systeme des Cartesius, vielmehr bewegen sich die Wirbel in der Richtung des Aequators oder mit ihm parallel von Westen nach Osten, woraus jedoch das Problem der Schwere nicht unmittelbar erklärlich wird. Um diesen Mangel zu verbessern, läfst Huyghens[3] die feine ätherische oder schwermachende Materie sich nicht mit dem Aequator parallel bewegen, sondern sich in dem sphärischen Raume, worin sie enthalten ist, nach allen möglichen Richtungen bewegen. Diese Bewegungen hindern und vermindern einander so lange, bis sich die Materie in lauter gröfsten Kreisen bewegt, die sich überall schneiden und in concentrischen Kugelflächen alle mögliche Richtungen annehmen. Indem hiernach der Stofs von allen Seiten erfolgt, kann er keine horizontale Bewegung veranlassen, sondern mufs die Körper nach dem Centrum der Erde treiben. Weil indefs eine solche Bewegung des Aethers an sich undenkbar ist, so waren die eifrigsten Cartesianer mit dieser Verbesserung nicht zufrieden. Indefs erklärte Huyghens sehr glücklich, oder er glaubte dieses wenigstens, wie eine Kreisbewegung Körper, die ihr nicht schnell genug folgen können, nach dem Mittelpuncte treibe, indem die im Kreise bewegte Materie gegen dieselben stöfst, sie aus der Stelle treibt und nicht eher ruhen läfst, als bis sie in die Mitte gedrängt sind. Dieser Satz wurde noch obendrein durch einen sinnreichen Versuch bestätigt. Huyghens füllte ein cylindrisches Glas von 4 bis 5 Zoll Höhe und 8 bis 10 Zoll Durchmesser mit Wasser, warf Stückchen zerriebenen Siegellacks hinein und drehete es vermittelst einer Centralmaschine schnell um seine Axe. War alles Wasser in eine hinlänglich schnelle drehende Bewegung versetzt, so hielt

1 Birch History of the Royal Soc. II. 72 u. 91.
2 Rohaultii Tractatus phys. ed. Clarke. II. cap. 8.
3 Dissert de causa gravitatis. In Opp. rel. T. I. p. 93.

Digitized by Google

er die Maschine an, worauf dann das Siegellack gegen die Mitte getrieben wurde, weil es, wie er meinte, durch Reibung am Glase seine Kreisbewegung verloren hatte. Somit glaubte also Huyghens die Ursache der Schwere in der Kreisbewegung des Aethers nachgewiesen zu haben, und da die Schwungkraft unter dem Aequator $\frac{1}{289}$ der Schwere ausmacht, so nahm er an, dafs die Geschwindigkeit der Bewegung des Aethers sich zur Geschwindigkeit der Axendrehung der Erde verhalte, wie $\sqrt{289} : \sqrt{1} = 17 : 1$, oder die Geschwindigkeit der Körper unter dem Aequator 17mal übertreffe[1].

Dafs Newton diese Wirbeltheorie gekannt habe, ist nicht zu bezweifeln, wenn man berücksichtigt, dafs er die Schriften des Cartesius fleifsig studirte und gegen diesen sowohl, als auch gegen Huyghens grofse Achtung hegte[2]. Desto gewisser aber ist, dafs er niemals ein eigentlicher Anhänger derselben war. Im Allgemeinen liebte er die hypothetischen Speculationen nicht, sondern er experimentirte und baute seine Schlüsse auf die dem Calcül unterworfenen Resultate seiner Versuche. Inzwischen war das Ansehen des Cartesius so grofs, dafs Newton beim Beginnen seiner Studien sich nicht füglich als Gegner desselben erklären konnte, auf jeden Fall aber war es ihm unmöglich, die Hypothese von der Existenz eines Aethers zu widerlegen, weswegen er, wenn auch nur aus der ihm natürlichen Nachgiebigkeit und versuchsweise, die optischen Erscheinungen und selbst die allgemeine Anziehung auf die Wirkungen eines Aethers zurückführte[3]. Hiernach war ein höchst feiner und zugleich elastischer Aether überall verbreitet, durchdrang zugleich die festen Körper, deren Poren um so viel weniger von ihm erfüllt sein sollten, je enger sie wären. Wurden diesemnach zwei Körper mit ebener Fläche einander genähert, so mufste der Aether stets mehr zwischen ihnen schwinden und eben hierdurch sein äufserer Druck

1 Weitere Erläuterungen dieser Theorie giebt Hamberger in Dissert. de experimento ab Hugenio pro causa gravitatis explicanda invento. Ien. 1723. 4. Vergl. Nollet in Mém. de l' Acad. 1741. p. 184.

2 Newtoni vita. In Opusc. T. I. XXII.

3 Epist. ad Rev. Boylium. In Newt. Opp. ed. Horsley. T. IV. p. 885. Vergl. Bibl. univ. T. XXI. p. 239.

Digitized by Google

wachsen, woraus die Adhäsion, Capillarattraction u. s. w. erklärbar seyn sollten. Im Mittelpuncte der Erde mufste dieser Aether verschwindend dünn seyn, nach aufsen aber an Dichtigkeit wachsen, wodurch also die Körper in der Nähe der Erde gegen ihr Centrum getrieben wurden[1].

Inzwischen wurde diese Hypothese sofort von ihm verlassen, als sein Scharfsinn entdeckt hatte, dafs die Gravitation der Himmelskörper auf das einfache Gesetz der Schwere zurückgeführt werden könne, wonach also die Annahme eines drückenden Aethers nicht länger zulässig war, indem dieser im mittleren Abstande zweier Himmelskörper seine gröfste Dichtigkeit haben mufste und daher keine Gravitation zuliefs. Von dieser Zeit an bemühete Newton sich nicht weiter, die eigentliche Natur und die Ursache der Gravitation zu ergründen, indem er vielmehr die gesammten Erscheinungen derselben auf die genauer bestimmten Gesetze der Schwere zurückzuführen suchte. Nach einer bekannten Anekdote soll Newton durch die zufällige Beobachtung eines fallenden Apfels zur Auffindung des allgemeinen Gravitationsgesetzes veranlafst worden seyn. Es scheint mir dieses jedoch im höchsten Grade unwahrscheinlich, da der Fall der Körper eine allgemein bekannte, einem jeden unzählbar oft vorkommende Erscheinung ist, wovon man die Ursache zu jenen Zeiten, wie Newton wohl wufste, in den Cartesischen Wirbeln zu finden glaubte, deren Nichtigkeit eben erst aus dem Gesetze der allgemeinen Schwere folgte; aufserdem aber wäre es ein allzukühner hypothetischer Sprung gewesen, von einer auf unserer Erde sich in dieser Gestalt zeigenden Erscheinung sofort auf eine den Himmelskörpern eigenthümliche Kraft zu schliefsen. Weit wahrscheinlicher ist dagegen anzunehmen[2], dafs das Nachdenken über die in den gröfsten mefsbaren Höhen über der Erde nur unmerklich abnehmende Schwere die natürliche Frage veranlafste, ob dieselbe sich nicht auch bis zu den Himmelskörpern erstrecke. Kaum zu bezweifeln ist dann, dafs die scharfe Auffassung der Keppler'schen Gesetze und die Con-

1 Vergl. Opt. qu. 21. Hutton Dict. T. I. p. 592.

2 Vergl. Sir Isaak Newton's Leben nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen von D. Brewster. Ueb. von B. M. Goldberg mit Anm. von H. W. Brandes. Leipz. 1833. S. 118. Cap. XI.

Digitized by Google

struction der Planetenbahnen nach diesen den Gedanken herbeiführte, die nämliche Anziehung, welche die Körper zur Erde führe, möge auch wohl den Mond in seiner Bahn um dieselbe erhalten und die Planeten auf gleiche Weise von der Tangente ihrer Bahn nach der Sonne hin ablenken. Dieses hat um so mehr Wahrscheinlichkeit für sich, als Newton[1]

1 Newton schrieb an Halley am 14. Juli 1686: „Was die dop„pelte Proportion betrifft, so erhielt ich sie aus Keppler's Lehrsatz „vor ungefähr zwanzig Jahren." S. Brewster a. a. O. S. 119. Diese Zeitbestimmung führt auf das Jahr 1666, als Newton sich der Pest wegen von Cambridge entfernte und auf sein Landgütchen nach Woolsthorpe begab, wo der Fall eines Apfels Veranlassung zu jener wichtigen Entdeckung gegeben haben soll. Biot (in seiner Lebensbeschreibung Newton's in Biographie universelle) nimmt die Anekdote in Schutz, weil dieselbe mit der Erzählung Pemberton's (View of Sir Js. Newton's Philosophy, Pref.), dafs Newton 1666 zu Woolsthorpe in der Einsamkeit über das Gesetz der allgemeinen Schwere nachgedacht habe, genau übereinstimme. Dieses ist allerdings richtig, auch ist im Texte gezeigt, wie bedeutend weit ihn seine Untersuchungen schon damals führten, er konnte diese aber nicht fortsetzen, weil ihm die genaueren Bestimmungen der Gröfse der Erde und also auch der Mondsbahn fehlten. Seine optischen Versuche zogen ihn nachher vom weiteren Verfolge dieses Gegenstandes ab, bis Dr. Hooke 1678 durch das Problem, welche Bahn ein lothrecht von der Erde aufwärts geworfener Körper beschreiben würde, ihn zur Entdeckung des berühmten Satzes leitete, dafs ein Planet, auf den eine mit dem Quadrate der Entfernung im umgekehrten Verhältnisse stehende anziehende Kraft wirkt, eine elliptische Bahn beschreiben müsse, in deren einem Brennpuncte der anziehende Körper sich befinde (Brewster a. a. O. S. 120. aus Biographia Britannica p. 2662). Biot beruft sich ferner auf Voltaire (Elémens de la philosophie Newtonienne Chap. 3), welcher jene Erzählung als eine von der Madame Conduit ihm mitgetheilte angiebt, und endlich finde man auch ausdrücklich bei Turnor (collections for the History of the Town and Soke of Grantham p. 160) eine Erzählung des Herrn Conduit, dafs Newton den Gedanken an die Gravitation zuerst aufgefafst habe, als er einen Apfel vom Baume fallen sah. Noch vor 15 Jahren, setzt Biot hinzu, zeigte man im Garten zu Woolsthorpe den Apfelbaum, der durch diese Geschichte eine seltene Celebrität erhalten hatte. Dieses, was Brandes in einer Anmerkung S. 321. des angez. Werks mittheilt, kann noch durch die Angabe Brewster's a. a. O. S. 289. ergänzt werden, dafs der Baum vor einigen Jahren vom Winde umgeworfen, aber von Turnor in Gestalt eines Stuhles aufbewahrt wurde. Brewster setzt hinzu: „die „Anekdote vom fallenden Apfel wird weder von dem Dr. Stukely noch „von Conduit erwähnt, und da ich nirgend eine Autorität dafür finden

Digitized by Google

selbst sagt, Keppler's Lehrsatz habe ihn darauf geleitet, eine den Quadraten der Entfernung proportionale Abnahme der Schwere anzunehmen.

Die durch Huygens etwas modificirte Theorie des Cartesius wurde noch geraume Zeit nach der Bekanntwerdung von Newton's richtigern Ansichten von vielen vertheidigt, denn selbst die englischen Physiker huldigten nicht alle dem überlegenen Genie ihres Landsmannes. Anhänger des Cartesius, für dessen Gegner von jener Zeit an Newton galt, waren unter andern Saurin[1], de Molières[2], Malebranche und andere. Bülfinger[3] in seiner bekannten Preisschrift nimmt an, die feine Materie bewege sich nicht blofs um zwei auf einander senkrechte Axen zugleich, sondern mache auch um jede dieser Axen zwei einander entgegengesetzte Bewegungen, so dafs also vier sich durchkreuzende, aber nicht störende Wirbel statt fänden. Inzwischen erkannte er sehr wohl das Gewagte und Ungenügende einer solchen Hypothese und erklärte offen, es sey dieses nur ein Versuch, etwas zu sagen, um nicht ganz über die Sache zu schweigen. Jakob Bernoulli[4] läfst die Säulen der feinen Materie vermöge ihrer Schwungkraft sich gegen die Materie im Himmelsraume stemmen und dadurch Körper, die weniger Schwungkraft haben, zurückgetrieben werden. Varignon[5] leitet die Schwere

„konnte, so nahm ich mir nicht die Freiheit, Gebrauch davon zu „machen." Ich selbst bin lebhaft von der Nichtigkeit derselben überzeugt, da es ohnehin Newton nicht ähnlich sieht, mit seinem grofsen Geiste bei einer solchen Kleinigkeit, die viele hundertmal von ihm beobachtet blofs zufällig eine Idee in ihm rege machen konnte, lange zu verweilen. Hätte dieses jedoch wirklich statt gefunden, so könnte er blofs mit der Madame Conduit sich darüber unterhalten haben, deren Aussage die einzige Autorität für die ganze Erzählung zu seyn scheint. Weit glaubwürdiger scheint es mir dagegen, dafs Newton aus der ihm eigenen Freundlichkeit gegen diese seine ihm liebe Wirthin dieser die Fallgesetze durch den Fall eines Apfels anschaulich zu machen suchte und diese nachher diese Erläuterung mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes in Verbindung brachte.

1 Hist. de l'Acad. T. I. p. 63. Desgl. 1709. p. 131.

2 Ebend. 1729. p. 235.

3 De Causa gravitatis cet. In: Recueil des Pièces qui ont remporté le prix. Par. 1728. 4. T. II. Comment. Pet. I. 245.

4 De gravitate aetheris. Amst. 1683. 8. p. 72.

5 Conjectures sur la Pesanteur. Par. 1691. 8.

Digitized by Google

von dem ungleichen Drucke einer flüssigen Materie auf die Körper her und glaubt, dafs, wenn ein Körper so weit von der Erde abstände, dafs unter ihm und über ihm gleich hohe Säulen der flüssigen Materie befindlich wären, er still stehn, in noch gröfserem Abstande aber sich von der Erde entfernen würde. Villemot[1] erklärt die Schwere auf eine seltsame Weise aus dem Drucke des Centralfeuers oder einer siedenden Materie im Mittelpuncte der Erde und der Planeten. Auch Nicol. Fatio Duillerius[2] redet viel von einer neuen Theorie zur Erklärung der Schwere und verschiedener anderer Naturerscheinungen, in der Hauptsache nahm aber auch dieser an, das ganze Universum sey mit einer sehr feinen und höchst schnell nach allen Richtungen, hauptsächlich aber geradlinig bewegten ätherischen Substanz erfüllt, welche hierbei zwar im Allgemeinen wegen ihrer Feinheit die Erde durchdringe, zum Theil aber auch gegen ihre Theile stofse, dadurch die Erscheinungen der Schwere erzeuge und doch nur unmerklich in ihrer Bewegung verzögert werde. Selbst Leibnitz war mindestens kein Anhänger Newton's, indem er sogar noch 1715 in einem Briefe an Conti sagte[3]: „Ich bin ein „grofser Freund von der Experimentalphysik, aber Newton „weicht davon sehr ab, wenn er behauptet, dafs jede Materie „schwer ist oder dafs jedes Theilchen der Materie jedes an„dere anzieht." Johann Bernoulli[4] dagegen wollte die Theorie der Wirbel mit den Newton'schen Ansichten vereinigen, und setzt daher in die Mitte der Erde und jedes Planeten eine Centralsonne, aus welcher die feine Materie in geraden Strahlen ausströme, aber in kleinen Flocken von 3 oder 4 und mehrern Kügelchen zurückkehre. Diese Flocken bilden nach seiner Ansicht einen Centralstrom, und da sie wegen ihrer Gröfse die Körper nicht frei durchdringen können, so stofsen sie gegen ihre kleinsten Theile und treiben sie gegen den Mittelpunct oder die Centralsonne.

Alle diese verschiedenen Systeme, welche insgesammt auf die Cartesische Hypothese von Wirbeln gestützt sind, stellt

1 Nouveau Système ou nouvelle explication du mouvement des Planètes. Lyon 1707. p. 182.

2 Aus ungedruckten Briefen in Bibl. univ. XXIII. p. 83.

3 Newton's Leben von Brewster. S. 175.

4 Oeuv. T. III. p. 146.

Digitized by Google

Maupertuis[1] zusammen, findet es schön, wenn man einfach alles in der Natur auf Materie und Bewegung zurückführen könne, bemerkt aber zugleich, dafs dieses durch die aufgestellte Hypothese noch keineswegs genügend geschehn sey, abgesehn davon, dafs die Existenz der Bewegung und Materie auf das Bedürfnifs derselben zur Erklärung der Naturphänomene nicht füglich gegründet werden könne. Der Beifall, welchen das Cartesische System lange Zeit genofs, beruhte zum Theil mit darauf, dafs es die Phantasie beschäftigte und dadurch seine bedeutende Schwäche verhüllte, nämlich die, dafs es die Erscheinungen, genau genommen, nicht erklärt, sondern die Erklärung blofs eine Stufe weiter hinausschiebt. Denn gesetzt auch, die Schwere liefse sich aus der Bewegung oder dem Drucke des Aethers erklären, so müfste man doch weiter fragen, was der Aether seinem Wesen nach sey und wodurch er selbst seine Bewegungen erhalten habe. Dieses fühlte Newton sehr wohl, indem er das *Wesen der Anziehung* nicht erklären wollte, welches nach Lichtenberg[2] erst noch eine weit gröfsere Kenntnifs aller Thatsachen, als unsere jetzige ist, voraussetzt; vielmehr begnügte er sich damit, die gesammten Erscheinungen der Attraction zu einem in sich consequenten Systeme zu vereinigen.

Seitdem durch die Resultate der Gradmessungen und genauerer Pendelbeobachtungen Newton's Gesetz der Schwere eine auffallende Bestätigung erhalten hatte, haben nur wenige versucht, das Wesen derselben zu erklären. Sehr dunkel, eben daher auch wenig beachtet, ist dasjenige, was Cadwalladër Colden[3] also Erklärung derselben angiebt. Viel Aufsehn dagegen hat die Hypothese erregt, die Le Sage aufstellte, vorzüglich deswegen, weil sie in dem kenntnifsreichen ältern De Lüc einen Vertheidiger fand. Das Hauptwerk, worin Le Sage den gröfsten Theil der Naturerscheinungen auf ein allgemeines Gesetz zurückführen wollte, ist niemals

1 Discours sur les différentes Figures des astres. In Oeuv. de Maupertuis. Lyon 1768. 8. T. I. p. 104.

2 Erxleben's Naturlehre. 6te Aufl. S. 86.

3 Erklärung der ersten wirkenden Ursache in der Materie und der Ursache der Schwere. Aus d. Engl. von Kaestner. Hamburg 1748. 8.

Digitized by Google

erschienen und man kennt daher sein System nur aus vorläufigen Schriften von ihm selbst[1] und aus einigen Mittheilungen seiner Vertheidiger L'Huilier[2], Prevost[3] und J. A. de Lüc[4]. Im Allgemeinen nimmt Le Sage an, dafs das ganze Universum mit Atomen erfüllt sey, welche sich nach allen Richtungen bewegen, und indem die Körper vermöge ihrer Porosität bei weitem die meisten durchlassen, trifft sie der Stofs nur von einigen, welcher aber bei der grofsen Geschwindigkeit der Bewegung völlig hinreichen soll, die Erscheinungen der Schwere zu erklären. Neben dieser Voraussetzung fordert sein System aber noch die Annahme von Zeittheilchen, welche eine unveränderliche Gröfse haben, und insofern eigentliche Zeitatome sind, als sie nicht weiter getrennt werden können. Der Stofs der schwermachenden Materie erfolgt dann blofs im Anfange des Zeitatoms, ist unwirksam während des Verlaufes desselben und wird beim folgenden wieder erneuert. Vermittelst solcher willkürlicher Hypothesen bringt Le Sage allerdings eine Erklärung der Schwere heraus, aus welcher namentlich das Gesetz des freien Falls der Körper, nämlich $s = t^2 g$, genau genug folgt, allein das Ungenügende und in sich Widersprechende seiner Voraussetzungen liegt zu klar am Tage, als dafs es belohnend wäre, dieses näher darzuthun. Auf gleiche Weise willkürlich ist die Annahme einer verschiedenen theils geradlinigen, theils krummlinigen, theils spiralförmigen Bewegung der Atome, wodurch verschiedene Naturerscheinungen erklärt werden, so wie einer verschiedenen Gestalt der Atome selbst, woraus die chemische Anziehung und die Krystallisation folgen sollen. Das ganze System ist überhaupt blofs das weiter ausgeschmückte und etwas modificirte Cartesische, eben daher aber weit entfernt, die eigentliche Ursache der Naturerscheinungen deutlich darzustellen,

---

1 Essay de chymie mécanique par M. Le Sage. Rouen 1758. 4. Lucrèce Newtonien par M. Le Sage, in Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. 1782. p. 404.

2 Exposition élément. des principes des calculs supérieurs cet. par L'Huilier. à Berlin 1786. 4. p. 187.

3 De l'origine des forces magnétiques. à Genève 1788. T. I. ch. 2. Deux Traités de physique mécanique. Genève 1818. 8.

4 Neue Ideen über d. Meteorologie. Aus d. Fr. Berl. u. Stettin 1787. Th. I. S. 6. Journ. de Phys. XLII. 88. 218.

Digitized by Google

wie DE LÜC meint, wovon man sich durch die gründliche Prüfung desselben durch KAESTNER[1] leicht überzeugen kann. Unrecht war es aber von den spätern Naturphilosophen, wegen eines solchen Mifsbrauches der Atomenlehre das Zurückkommen auf untheilbare Elemente bei fortgesetzter Theilung der Körper und eine bleibend materielle Grundlage derselben als in sich widersprechend und vernunftwidrig darzustellen.

Die Vorstellungsart des Dr. PEART, wonach dieser die Ursache der Anziehung zu erklären sucht, die sich aber hauptsächlich auf das Wesen der Materie[2] bezieht, hat zu geringen innern Werth, als dafs sie eine nähere Erläuterung verdienen sollte.

Verschiedene deutsche Physiker glaubten in den neuern Zeiten die Erscheinungen der Schwere auf die durch KANT hervorgehobene Ziehkraft zurückführen und hiernach ihrem Wesen nach erklären zu können, indem sie dieselbe eine *Grundkraft* nannten. Man sieht jedoch bei vorurtheilsfreier Prüfung bald, dafs diese Kraft nichts anders ist, als die von NEWTON angenommene Attraction, mit der Erweiterung, dafs sie als Grundkraft nicht blofs von der Materie unzertrennlich, sondern sogar das Wesen der letztern bedingend seyn sollte, wie schon früher durch BOSCOVICH als ähnliche Hypothese aufgestellt worden war[3]. Ebenso wenig genügend zeigt sich SCHELLING's[4] Theorie, welcher eine eigene *Schwerkraft* annimmt, weil Anziehung und Abstofsung als entgegengesetzt einander aufheben und daher zur Erzeugung der Bewegung des Fallens unzureichend seyn müfsten; ein allerdings gegründeter Einwurf.

Eine gleiche Aufmerksamkeit, als die zuletzt genannten Systeme in Deutschland, erregte ein ähnliches in England[5]. Aus einer unter den Geistlichen und vielen andern entstande-

---

1 Prüfung eines von H. LE SAGE angegebenen Gesetzes fallender Körper, Deutsch. Museum 1776. Juni. Untersuchungen über d. Atmosph. von J. A. DE LÜC. D. Ueb. II. 660.

2 S. Art. *Materie*.

3 Im Art. *Materie* wird die Hypothese von den zwei Grundkräften ausführlich geprüft.

4 Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie. Jena 1799. 8.

5 Hutton Dictionary. T. I. p. 593.

Digitized by Google

nen Furcht, die Naturlehre möge alles aus Kräften erklären, den Einfluſs der Gottheit ganz ausschlieſsen und dadurch den Atheismus begründen, wurde Vince, Professor der Astronomie zu Cambridge, aufgefordert, die verschiedenen Systeme über Schwere und Gravitation kritisch zu prüfen. Seine Untersuchung wurde mit Beifall aufgenommen und man äuſserte den Wunsch, daſs er sie der königl. Societät überreichen möge. Dieses geschah durch seinen Freund Maskelyne, allein die Sache fand dort weniger Anerkennung, als er erwartet hatte, und er lieſs daher die kleine Schrift 1806 zu Cambridge drucken. Hierin prüft er zuerst die Hypothesen des Cartesius, Newton, Le Sage und Bernoulli, nebst einigen minder bedeutenden, mit Uebergehung der von Boscovich aufgestellten, so sehr diese letztere auch in England beachtet und namentlich durch Robison hervorgehoben worden ist. Dann macht er hauptsächlich die durch Newton aufgestellte Hypothese, wonach die Schwere sowohl auf der Erde, als auch die Gravitation der Himmelskörper gegen die Sonne durch einen feinen Aether bewirkt werden soll, zum Gegenstande einer mathematischen Untersuchung, wobei er folgende zwei Hauptsätze zum Grunde legt:

1) Die Gravitation eines Planeten gegen die Sonne steht im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung.

2) Eine Kraft, welche in diesem genannten Verhältnisse wirkt, kann nicht aus verschiedenen Kräften zusammengesetzt seyn, die nicht das nämliche Verhältniſs befolgen. Hiernach glaubt er, die Dichtigkeit des Mediums, welches die Anziehung bewirkt, sey meſsbar nach der Zahl der Theilchen, die auf einer gegebenen quadratischen Fläche vertheilt wären, daſs also die Veränderung der Dichtigkeit desselben bei einer Entfernung = d von der Sonne = d^m seyn müsse, mithin die Entfernung der Theilchen von einander = $\frac{1}{d^{\frac{1}{2}m}}$. Indem er dann ferner annimmt, daſs die Elasticität der Theilchen selbst variire als die nte Potenz ihrer Entfernung oder = $\frac{1}{d^{\frac{1}{2}m \cdot n}}$ sey, so erhält er zuletzt $\frac{2m - mn}{3e} \times a^{\frac{2m - mn}{n} - 1}$ als Ausdruck der beschleunigenden Kraft der Planeten gegen die Sonne in der Entfernung = a. Dieser Ausdruck, bemerkt

Digitized by Google

Vince, giebt die Gravitation als eine Function von e, der Dichtigkeit des Planeten, und ist also unzulässig, weil die Gravitation von der Gröfse und Dichtigkeit unabhängig ist, und man kann daher keinen Aether als Ursache derselben annehmen.

Playfair[1] hat indefs später versucht, die Hypothese von einem Aether zu vertheidigen, indem er sagt, eine Variation der Dichtigkeit desselben, durch $ax^m + bx^n$ ausgedrückt, könne allerdings nicht statt finden, weil sonst die hieraus entstehende Kraft zwei Ausdrücke einschlösse. Würde aber eine von diesen Gröfsen constant, z. B. $m = 0$, so erhielte man den Ausdruck $a + bx^n$ und die Kraft liefse sich durch das Differential von bx^n ausdrücken, d. h. durch eine Gröfse proportional $x^{n-1}dx$. Wäre also die Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne $= x$, die Dichtigkeit des Aethers in dieser Entfernung $= b$, seine Elasticität $= e$, nähme dann b im directen Verhältnisse von x zu oder wäre $= ax$ und $e = c - \frac{1}{b} = c - \frac{1}{ax}$, worin c eine beständige Gröfse ist, die bestimmt würde, wenn man wüfste, in welcher Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne die Elasticität des Aethers $= 0$ ist, so könnte man allerdings einen Ausdruck erhalten. Es sey z. B. diese Entfernung $= s$, also $x = s$, $c = \frac{1}{as}$, so dafs $e = \frac{1}{as} - \frac{1}{ax}$ wird, so giebt das Differential $de = \frac{dx}{ax^2}$, und es ist de das Differential der Elasticität, welches dem Differential der Entfernung dx zugehört, mithin die Kraft, womit ein verschwindendes Kügelchen oder ein einzelnes Theilchen der Materie, undurchdringlich für den Aether, gegen die Sonne getrieben wird, und diese verändert sich im Verhältnifs von $1 : ax^2$ oder ist dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional. Es ist daher mindestens *möglich*, dafs ein elastisches Fluidum das Bestreben der Körper, sich einander zu nähern, bewirkt, welches sich im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates ihres Abstandes ändert, und hierzu genügt ein Aether, dessen Dichtigkeit seiner Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional ist.

---

1 Edinburgh Review. XIII. 101.

Digitized by Google

Schwerlich wird diese Demonstration die Ueberzeugung von der Anwesenheit eines Aethers als Ursache der Schwere und Gravitation hervorzubringen vermögen. Sie beweist indefs, wie sehr die Britten bemüht sind, Newton's nur beiläufig geäufserte Hypothese von der möglichen Existenz und Wirkungsart desselben zu rechtfertigen. Am gerathensten bleibt es jedoch immer, die Wirkungen der Schwere durch die Hülfsmittel des Calcüls unter allgemeine Gesetze zu bringen, sie selbst aber vorläufig als eine nicht näher zu bezeichnende Kraft zu betrachten und denjenigen Aufwand von Zeit und Mühe, welchen die vorerst wahrscheinlich fruchtlosen Speculationen über ihr eigentliches Wesen erfordern könnten, der Erforschung anderer noch dunkler Naturgesetze zu widmen.

Es möge hier noch mit wenigen Worten der *negativen* Schwere gedacht werden, deren Existenz eine kurze Zeit die Aufmerksamkeit einiger Physiker in Anspruch nahm. Sie müfste das Entgegengesetzte der bekannten Schwere seyn und dieser letztern ebenso entgegenstehn, als die Zurückstofsung der Anziehung, folglich sich als ein Bestreben der durch sie afficirten Körper zeigen, den Mittelpunct der Erde zu fliehen. Bis jetzt ist noch nicht erwiesen, dafs die sogenannten unwägbaren Potenzen, Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus, gegen die Erde gravitiren oder schwer sind, und man mufs ihnen daher, falls sie für materiell gehalten werden und ihre Unwägbarkeit aus den bisherigen Versuchen genügend folgt, die Schwere absprechen oder sie für absolut leicht halten, aber für negativ schwer, also der Schwere entgegenstrebend, können sie nicht gehalten werden, wenn man nicht zugleich annehmen will, dafs diese ihre Eigenschaft auf die Körper, womit sie verbunden sind, einen Einflufs äufsere, indem sonst z. B. erhitzte Körper leichter seyn, also heifse Pendel langsamer schwingen müfsten, als kalte. Im Allgemeinen kann also von einer durch Thatsachen angedeuteten negativen Schwere überhaupt keine Rede seyn.

Zur Annahme einer negativen Schwere wurde R. A. C. Gren veranlafst, um die damals herrschende Vorstellung von der Existenz des *Phlogistons* zu retten. Als nämlich Lavoisier gezeigt hatte, dafs verbrannte (verkalkte, oxydirte) Metalle, von denen also das vermeintliche Phlogiston entfernt war, schwerer seyen, als sie im regulinischen Zustande sich

Digitized by Google

gezeigt hatten, und dafs also kein Phlogiston existiren könne, so legte Gren diesem eine negative Schwere bei. Gründlich wurde diese Hypothese widerlegt durch J. T. Mayer[1], dessen Beweis hauptsächlich auf folgenden Sätzen beruht. Wenn die Masse = M eines Körpers aus zwei Theilen = Q und N zusammengesetzt ist, wovon ersterer durch die Kraft = g niederwärts, letzterer durch die Kraft = γ aufwärts gezogen wird, so ist der Druck, womit beide in entgegengesetzter Richtung getrieben werden, = gQ und γN. Sind beide gleich, so wird M ruhn, ist aber gQ gröfser, so drückt M niederwärts mit einer Kraft = $gQ - \gamma N$. Wenn man dieses auf die ganze Masse vertheilt, also durch M dividirt, so ist die Beschleunigung = $\frac{gQ - \gamma N}{M} = G$, und der Körper mufs also langsamer fallen. Gren suchte seine Hypothese dadurch zu retten, dafs er zeigte, derjenige Theil der Masse, welcher durch die Verbindung mit dem negativ schweren Phlogiston sein ganzes Gewicht verliere, müsse zwar das Totalgewicht um eine gewisse Gröfse vermindern, könne aber bei einem Gewichte = 0 das Fallgesetz der übrigen Masse nicht abändern; übersah hierbei aber, dafs dieses fehlenden Gewichts des nicht schweren Theils ungeachtet die Masse desselben doch blieb, folglich auch durch die bewegende Kraft des Restes mit bewegt werden mufste, und dafs hierzu ein Kraftaufwand erfordert werde, welcher die Wirkung der Gesammtkraft verminderte. Zuletzt erkannte er seinen Irrthum und gab die Hypothese auf[2]. Aus speculativen Gründen behauptet auch Fries[3], dafs es allerdings eine negative Schwere geben könne, allein man sieht bald, dafs hierbei blofs von der logischen Möglichkeit die Rede sey, indem die Erfahrung und die anderweitigen wohlerkannten Naturgesetze dieser Annahme widerstreiten.

M.

---

1 Gren Journ. Th. I. S. 205. 359.

2 Ebend. Th. II. S. 198. Vergl. C. F. Hindenburg Programma, quo ostenditur, calorem et phlogiston non esse materias absolute leves.

3 Mathematische Naturphilosophie. S. 555.

BAYERISCHE STAATS BIBLIOTHEK MÜNCHEN

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google